

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MODALIDADE PROFISSIONAL**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS APLICADOS  
À GERAÇÃO ELÉTRICA**

**ILANA PEREIRA DA COSTA CUNHA**

**MACAÉ**

**2014**

# **AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS APLICADOS À GERAÇÃO ELÉTRICA**

**ILANA PEREIRA DA COSTA CUNHA**

Projeto de Avaliação Ambiental dos Conversores de Energia das Ondas Aplicados à Geração Elétrica, pertencente à linha de Pesquisa: “Desenvolvimento e Sustentabilidade”, apresentada para avaliação como pré-requisito para obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientação: D.Sc. Marcos Antonio Cruz Moreira

**MACAÉ**

**2014**

Dissertação intitulada AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS APLICADOS À GERAÇÃO ELÉTRICA, elaborada por ILANA PEREIRA DA COSTA CUNHA, sob orientação do professor D.Sc. MARCOS ANTONIO CRUZ MOREIRA apresentada publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de atuação Análise Ambiental, linha de pesquisa Avaliação e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em

14/11/2014

Banca Examinadora:



---

Marcos Antônio Cruz Moreira – Orientador

D.Sc. em Engenharia Elétrica - UFRJ. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) do Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé.

---

Jader Lugon Junior

D.Sc. em Modelagem Computacional - UERJ. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) do Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé.



---

Antonio Carlos Ferreira – Convidado,

Ph.D. em Engenharia Elétrica – University of Cambridge. Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

A Deus  
À minha família

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, acima de tudo e de todos pelas oportunidades que me foram concedidas durante todo o curso de mestrado. A Ele toda honra, toda glória e todo o meu louvor, pra sempre!

Ao meu marido, Arquimedes, por toda força e apoio desde antes do início do curso até a sua conclusão.

Aos meus pais, Evanice e Lúcio, por sempre acreditarem em mim e torcerem pelo meu sucesso.

Ao meu irmão, Renan, que não mede esforços em me auxiliar no que for preciso.

Ao mestrando João Amaro pela montagem da parte mecânica deste projeto.

Ao meu orientador, Marcos Antonio Cruz Moreira, sem o qual seria impossível a conclusão deste. Agradeço pela paciência e por todo o apoio e aconselhamento ao longo dos dois anos de curso.

À FAPERJ, pelo apoio financeiro à execução do projeto.

Aos citados acima, aos demais familiares, amigos e colegas de turma, deixo aqui registrado o meu 'Muito obrigada' e os meus votos de sucesso.

Ilana P. Costa Cunha

“Bem Aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento; porque é mais preciosa do que rubis, e tudo o que possas desejar não se pode comparar a ela. É como árvore de vida para os que dela tomam, e são bem-aventurados todos que a retêm.”

Bíblia Sagrada – Provérbios 3

## RESUMO

A presente dissertação tem como tema a geração de energia elétrica mediante energia das ondas. Para isto, é feito um artigo de revisão das formas de geração de energia das ondas; além de estudos a respeito do potencial brasileiro no uso dessas tecnologias. Também é feito uma análise do comportamento de um protótipo de gerador linear de fluxo transversal construído em laboratório.

**Palavras- Chave:** Energia Oceânica. Máquina de Fluxo Transversal. Geração de Energia

## **ABSTRACT**

*This work has as its theme the tidal energy. For this, it is made of a forms of wave energy generation review article; as well as studies on the Brazilian potential of using these technologies. It is also made an analysis of the behavior of a linear generator with machine transverse flux prototype built in the laboratory.*

**Keywords:** *Tidal Energy. Transverse Flux Machine. Energy Generation*



## LISTAS DE FIGURAS – ARTIGO 1:

Figura 1 – Matriz Energética Brasileira.....	25
Figura 2 – Percentual brasileiro na geração de energia renovável.....	26
Figura 3 – Parâmetros para cálculos do Ranking Ernst &Young.....	27
Figura 4 – Ranking Ernst & Young.....	28
Figura 5 – Novo Mineirão.....	29
Figura 6 – Gráfico de Geração de Energia Eólica no Brasil.....	30
Figura 7 – Sistemas Isolados de Energia e Sistema Interligado Nacional.....	34

## LISTA DE FIGURAS – ARTIGO 2:

Figura 1 – Parâmetros das Ondas.....	43
Figura 2 – Esquema de Onda – Energia Potencial.....	45
Figura 3 – Esquema do <i>WEC Point Absorber</i> .....	47
Figura 4 – Demonstração de linhas de Campo Magnético.....	50
Figura 5 – Diagrama de tipos de geradores elétricos.....	55
Figura 6 – Demonstração de tipos de geradores eólicos.....	57
Figura 7 – Componentes do Gerador Linear.....	62
Figura 8 – Simulação da distribuição de permeabilidade relativa.....	64
Figura 9 – Simulação e Fotografia do Gerador em Fase Inicial.....	65
Figura 10 – Amortecedor.....	66
Figura 11 – Esquema do rotor gaiola de esquilo e seus componentes.....	66
Figura 12 – Bobina feita a partir de fio esmaltado.....	67
Figura 13 – Esquema da posição de ímãs do rotor.....	67
Figura 14 – Desenho Técnico do Gerador.....	69
Figura 15 – Fotos da Fase de Construção.....	69
Figura 16 – Protótipo Pronto.....	69
Figura 17 – Placa DAQ NI USB 6009.....	70
Figura 18 – Diagrama de Blocos do LabView.....	71
Figura 19 – Diagrama Frontal do LabView.....	71
Figura 20 – Especificação da Placa DAQ utilizada.....	72
Figura 21 – Forma de Onda do Osciloscópio.....	72

## **LISTA DE TABELAS - ARTIGO 2:**

Tabela 1 – Classificação de máquinas de ímãs permanentes.....	60
Tabela 2 – Resultados Obtidos na Primeira Medição.....	71
Tabela 3 – Resultados Obtidos na Segunda Medição.....	73
Tabela 4 – Cálculos da Média dos Resultados.....	73

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS:

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

CENPES – Centro de Pesquisas da Petrobras

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra (UFRJ)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EMEC – *Europe Marine Energy Centre*

FEA – *Finite Elements Analysis*

IEAPM – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

IFF – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

MEF – Método de Elementos Finitos

MFT – Máquina de Fluxo Transversal

MME – Ministério de Minas e Energia

MS- Máquinas Síncronas

MSMP – Máquinas Síncronas de ímãs permanentes

MSVV – Máquinas Síncronas de velocidade variável

Mtep – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

PA – *Point Absorber*

SIN – Sistema Interligado Nacional

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Sumário da Dissertação:

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>ARTIGO CIENTIFICO I.....</b>	<b>20</b>
<b>ARTIGO CIENTIFICO II.....</b>	<b>39</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## Sumário – Artigo 1:

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
Objetivo Geral.....	23
Objetivos Específicos.....	23
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>24</b>
Energia Elétrica no Brasil.....	24
A Relação Brasileira com Energia Renovável.....	26
Ranking Ernst & Young.....	26
O Brasil e a Energia Solar.....	29
O Brasil e a Energia Eólica.....	29
Energia Geotérmica.....	29
Energia Oceânica.....	30
Energia Oceânica no Mundo.....	31
Energia Oceânica no Brasil.....	32
O Porto de Pecém.....	33
Interconexão ao SIN.....	35
Questões Econômicas e Jurídicas.....	36
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>5.REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## Sumário – Artigo 2:

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>41</b>
Objetivo Geral.....	41
Objetivos Específicos.....	41
<b>3. REVISÃO BIBIOGRÁFICA.....</b>	<b>42</b>
Ondas.....	42
Energia Potencial Gravitacional.....	44
Energia Cinética.....	45
Obtenção de Energia das Ondas.....	46
<i>Point Absorber</i> .....	47
Funcionamento do <i>Point Absorber</i> .....	48
<i>Point Absorber</i> no mundo.....	48
Impactos Ambientais causados pelo WEC <i>Point Absorber</i> .....	49
Eletromagnetismo.....	50
O Campo Magnético e suas linhas.....	50
Fluxo Magnético.....	51
Densidade de Campo Magnético.....	51
A descoberta de Oersted.....	51
3º Lei de Newton: Ação e Reação.....	51
Demais Descobertas.....	52
Fontes de Campo Magnético.....	52
Campo Magnético gerado em torno de um condutor retilíneo.....	52
Campo Magnético gerado no centro de uma espira circular.....	52
Campo Magnético gerado no centro de uma bobina longa ou solenóide.....	53
Eletroímã.....	53
Campo Magnético gerado por um toróide.....	53
Conclusão de Faraday .....	53
Lei de Lenz.....	54
Tensão Induzida em condutores que cortam um Campo Magnético.....	54
O Princípio do Eletromagnetismo – Equações de Maxwell.....	54

Tipos de Geradores.....	55
Máquina de Indução.....	56
Máquinas Síncronas.....	57
Máquina de Fluxo Transversal.....	59
Orientação quanto ao entreferro de ar.....	59
Orientação quanto ao fluxo do núcleo do estator.....	60
Orientação quanto ao ímã permanente.....	60
Geradores de Ímãs Permanentes.....	60
Geradores Convencionais.....	61
Geradores Lineares.....	61
Geradores Lineares.....	61
Vantagens do uso de geradores lineares na produção de energia das ondas.....	62
Desvantagens do uso de geradores lineares na produção de energia das ondas.....	62
Força Cogging.....	62
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
<b>5. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....</b>	<b>64</b>
Pistão.....	64
Corpo do Pistão.....	65
Suporte.....	66
Rotor.....	67
O Protótipo.....	68
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
Testes de Tensão.....	70
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
Sugestão de Trabalhos Futuros.....	76
<b>8. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica no Brasil é gerada a partir de diversas formas. Gera-se energia a partir de fontes renováveis e não-renováveis, sendo usadas algumas em proporção mínima e outras em grandes proporções.

As energias renováveis estão em evidência como uma possível solução para os efeitos danosos decorrentes da geração de gases de efeito estufa e também de particulados SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> decorrentes da produção de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis. Mesmo dentre as assim chamadas 'fontes alternativas' ou 'renováveis' de produção de energia elétrica, existem aquelas mais ou menos defensáveis do ponto de vista da produção de impactos ambientais. Dentre as mais contestadas estão a geração hidroelétrica, por conta dos alagamentos necessariamente associados a este tipo de produção. Outro exemplo também sujeito à contestação está a geração a partir de insumos agrícolas, como cana-de-açúcar, no caso do etanol e soja, sorgo, do ponto de vista de produção de biodiesel, quando se considera a hipótese destes cultivos concorrerem em espaço com a vegetação nativa.

Embora não estejam isentas da produção de impactos ambientais, as energias renováveis produzidas a partir dos ventos (eólica) e dos oceanos (a partir de marés, ondas ou correntes) parecem, pelo que a literatura sugere, ter impactos menos significativos. Não obstante enfrentam questões que não são desprezíveis relacionadas com a eficiência da geração e com a irregularidade de fornecimento do insumo 'mecânico' associado, seja por exemplo, a velocidade do vento, velocidade das ondas, variação de altura das marés.

Considerando estes dois aspectos apontados anteriormente, a eficiência da geração e sua sensibilidade à sazonalidade da energia fornecida ao gerador na entrada (na forma mecânica) a tendência recente no mundo e no Brasil é investigar topologias de geração que sejam menos sensíveis a estes parâmetros e que garantam eficiência razoável. Pelo fato de tanto a energia eólica, quando a energia dos oceanos estarem ambas sujeitas aos mesmos problemas do binômio eficiência/sazonalidade ou eficiência / variação no tempo (visto que a variação pode ocorrer em uma taxa mais rápida do que a demarcada por estações do ano), existe uma tendência de se investigar uma solução tecnológica que atenda a ambas as

formas e consiga lidar bem com estas questões. Conforme pesquisas recentes (BOYLE, 2014), (OPREA, 2011) e (LIU, 2010), uma tendência é o uso de geradores lineares, ao invés de rotativos.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a forma de geração de energia a partir das ondas do oceano, ainda pouco difundida no Brasil.

O primeiro artigo traz uma discussão a respeito do potencial brasileiro em energias renováveis, principalmente em energia oceânica, pesando variáveis conhecidas com os progressos desse tipo de energia no país. O segundo artigo tem como objetivo a simulação e construção de um protótipo de gerador de ímãs permanentes e fluxo transversal, adequado para as operações características como as ocorrem quando a fonte mecânica de acionamento é um absorvedor pontual – dispositivo que vem sendo utilizado em muitos países na geração de energia elétrica a partir das ondas.

## **2. METODOLOGIA:**

A Metodologia utilizada no desenvolvimento dos Artigos encontra-se detalhada a seguir:

Artigo 1 – Perspectivas de Energia Oceânica no Brasil.

Trata-se de um Artigo de Revisão, portanto, conta com uma ampla revisão bibliográfica a respeito do tema proposto e a análise dos tópicos dá origem à conclusão.

Artigo 2 – Estudo da Viabilidade de Utilização de uma Máquina de Fluxo Transversal Linear como parte da estrutura do conversor de Energia das Ondas *Point Absorber*.

Trata-se de um artigo que contém revisão bibliográfica, análise da revisão, detalhamento da construção de um protótipo, bem como de programações e medições realizadas no protótipo, análise de resultados e conclusão.

## Artigo Científico I

### **Perspectivas de Energia Oceânica no Brasil**

---

*Perspectives of Ocean Energy in Brazil*

Ilana Pereira da Costa Cunha\*

Marcos Antônio Cruz Moreira\*\*

#### **RESUMO:**

Trata-se de um artigo de revisão, cujo objetivo é observar os tipos de geração de energia utilizados no Brasil e questionar o potencial brasileiro na geração de energia oceânica, focando principalmente na energia das ondas.

#### **ABSTRACT:**

This is a review article, whose function is to observe the types of power generation used in Brazil and questioning Brazil's potential in generating ocean energy, focusing mainly on the wave energy.

\*Mestrando Engenharia Ambiental no IFF. Engenheira de Controle e Automação, graduada no IFF – Macaé em 2013.

\*\*Engenheiro Eletrônico e Mestre em Engenharia Elétrica; graduado e pós-graduado na UFRJ. Professor dos cursos técnicos, superior e mestrado no IFF – Macaé.

## 1. INTRODUÇÃO:

Conforme publicado na nota técnica “Projeção da demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos” da Empresa de Pesquisa Energética (2014), a demanda por energia elétrica no Brasil tende a aumentar mais de 4,5% ao ano entre os anos de 2013-2023. (EPE, 2014)

Segundo José Goldemberg (2000), a demanda por energia elétrica apresenta aumento proporcional ao nível de desenvolvimento de um país. O autor afirma que “energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento”, e que para provar esta afirmação, basta comparar o percentual anual de crescimento do consumo de energia entre os países industrializados – apenas cerca de 1% ao ano – com o de países em desenvolvimento – cuja média chega a 4% ao ano. (GOLDEMBERG, 2000)

Embora o acréscimo de energia elétrica seja necessário para o desenvolvimento do país, sabe-se que também possui seus pontos negativos como, por exemplo, o aumento considerável da quantidade de emissões de gases de efeito estufa provenientes das formas de geração de energia, principais responsáveis pelos fenômenos climáticos que estão ocorrendo no mundo. Portanto, o impacto ambiental decorrente de tais formas vem sendo discutido mundialmente, dada a gravidade da questão. (INATOMI, UDAETA, 2011)

Por esta razão, está havendo crescimento na quantidade de estudos que procuram desenvolver métodos diversos de geração de energia, que afetem o mínimo possível o meio ambiente. Como resultado destes estudos, pode-se citar um aumento significativo de construções de parques eólicos e o aumento do uso de placas solares fotovoltaicas.

A matriz energética brasileira conta com grande percentual de energia decorrente de fontes renováveis; (EPE, 2014). Porém, as energias renováveis no Brasil são, na maioria, energia hidráulica e proveniente da biomassa da cana de açúcar (EPE, 2014). Em 2013, a participação das chamadas “energias renováveis” na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, alcançando a marca de 41%;(EPE, 2014) porém, estas não estão totalmente isentas de impactos ambientais, motivo pelo qual devem continuar a ser estudadas.

Um tipo de energia "limpa" que tem se mostrado promissora é a energia proveniente dos oceanos; seja por forma de conversão térmica, por energia das marés, das ondas ou por

energia eólica *offshore*. Todas estas tendem a crescer, uma vez que estas possuem potencial para ajudar a amenizar a ameaça de mudança climática global (PELC, FUJITA; 2002).

Acredita-se que seja possível abastecer todo o planeta com a energia do oceano, caso esta seja transformada em energia elétrica. Por isso, cada vez mais estão surgindo métodos de transformação de energia do oceano, seja por meio de aproveitamento da mudança do nível das marés, do movimento das ondas ou pelo gradiente de temperatura entre regiões de diferentes profundidades.

Este trabalho investiga as possibilidades e tendências de extração de energia dos oceanos no Brasil para produção de eletricidade.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo Geral:

Revisar literatura para análise do potencial brasileiro em energia das ondas.

### 2.2. Objetivos Específicos:

- Avaliar os pontos de estrangulamento econômico e técnico no Brasil que limitam a exploração da energia do oceano;
- Identificar as possibilidades técnicas de interconexão ao SIN;
- Analisar a colocação desta fonte renovável no âmbito jurídico e econômico existente.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:**

#### **Energia Elétrica no Brasil:**

“O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica).” (ANEEL, 2008). Portanto, o aumento significativo do consumo de energia elétrica no país é um forte indicador de desenvolvimento econômico e financeiro. Porém, não se deve considerar apenas a economia. O Atlas em questão também aponta um confronto entre a demanda crescente de energia elétrica e seus aspectos negativos como, por exemplo, a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais não-renováveis utilizados para produção de energia e o impacto ambiental causado por essa atividade.

No ano de 2013, a oferta interna de energia (demanda total do país) foi de 296,2 Mtep, que registrou uma taxa de crescimento de 4,5% em relação à evolução do PIB nacional, que foi de 2,3%. (EPE; 2014)

A energia consumida no Brasil é proveniente de diversas fontes renováveis e não-renováveis, porém, há uma forte predominância de usinas hidrelétricas no Brasil. A inclusão de usinas termelétricas ocorreu principalmente devido ao racionamento de energia em 2001, causada pela falta de fontes de alimentação. A matriz energética brasileira está ilustrada na Figura 1.



**Figura 1 – Matriz Energética Brasileira**

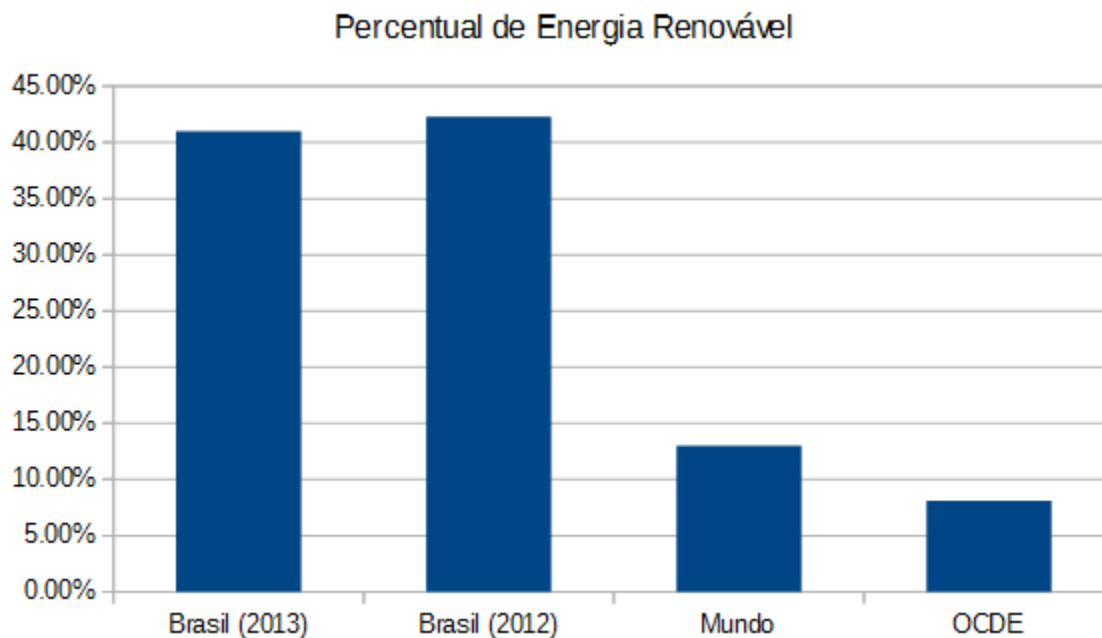


**Fonte: EPE, 2014**

Matriz Energética é uma descrição simplificada de toda a produção e consumo de energia de um país, discriminada por fonte de produção e setores de consumo (VICHÍ; 2009). No Brasil, a descrição de matriz energética mais detalhada consta no Balanço Energético Nacional (BEN), que é uma publicação anual do Ministério de Minas e Energia (MME). O BEN trata-se de um documento bem completo, sendo feito regularmente desde 1970, e é utilizado tanto pelo governo quanto pelo setor privado para fins de pesquisa (VICHÍ; 2009).

Ao observar a Figura 1 pode-se notar que a matriz energética brasileira exibe 41% de energia renovável (biomassa da cana, hidráulica, lenha e lixívia, entre outras) frente a 59% de energia não renovável (derivados de petróleo, gás natural, carvão e urânio). Este é um bom percentual se comparado a média de outros países (conforme ilustrado na Figura 2), todavia, há suspeitas de que o potencial brasileiro em energias renováveis seja muito maior do que o registro atual.

**Figura 2 – Percentual Brasileiro de Geração de Energia Renovável**



**Fonte: EPE, 2014**

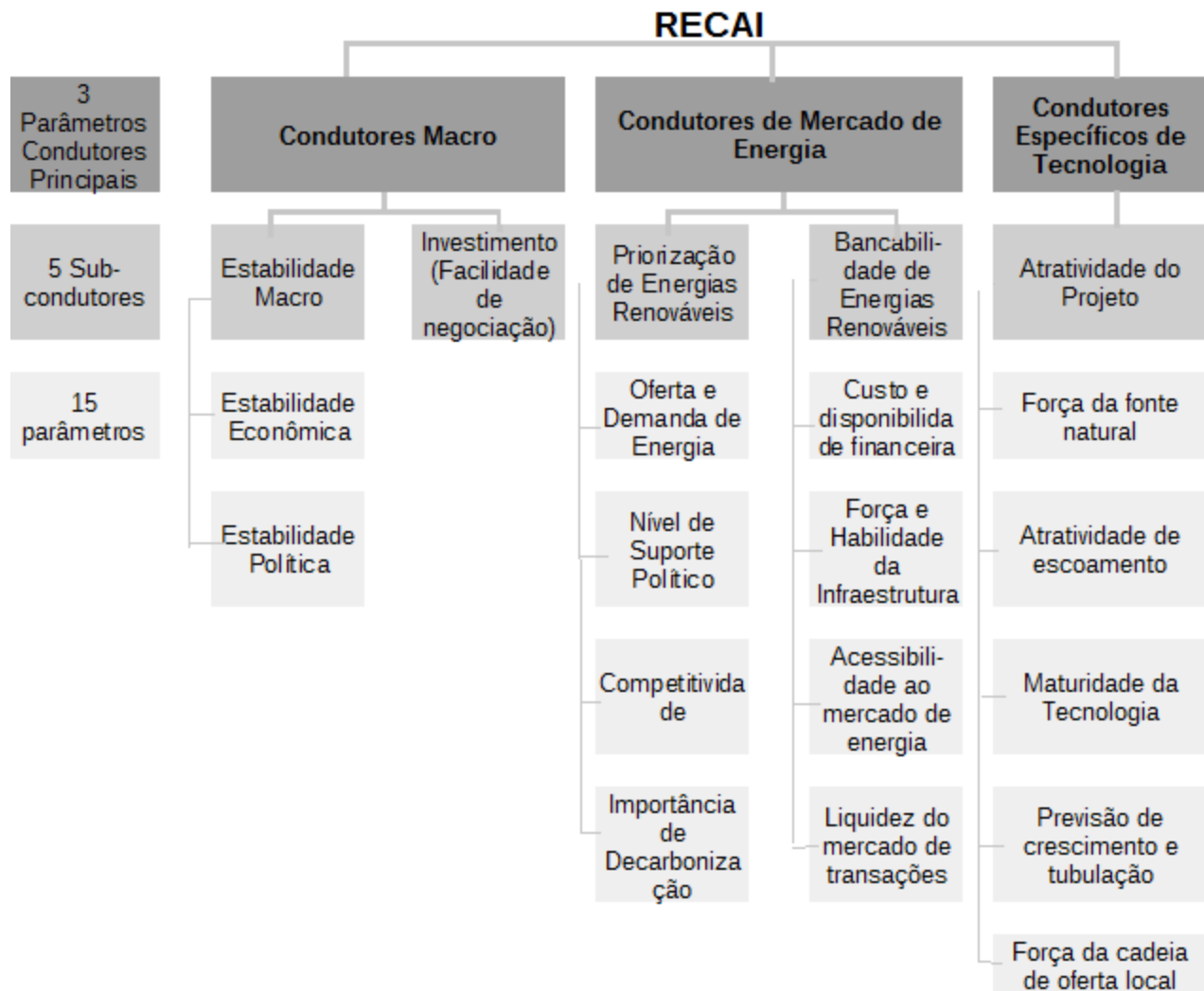
### **A relação brasileira com energias renováveis:**

Segundo o Balanço Energético Nacional – Ano base 2013 (2014), o percentual de energias renováveis do Brasil manteve-se entre os mais elevados do mundo; porém, houve uma pequena redução, se comparado com o ano anterior, explicada pela queda na capacidade de energia hidráulica (EPE, 2014).

### **Ranking Ernst & Young:**

O ranking Ernst & Young é uma ferramenta de medida que mostra o desenvolvimento dos tipos de energia de um determinado país em comparação com os outros países. Tal ranking utiliza uma metodologia de atribuição de valores a diversos parâmetros, e assim constituem uma pontuação, que dá origem ao ranking.

**Figura 3 – Parâmetros para cálculos do Ranking Ernst & Young**



**Fonte: RECAI,2014**

A Figura 3 exibe os principais parâmetros utilizados para demonstrar o grau de desenvolvimento dos tipos de geração de energia nos países. Os primeiros parâmetros recebem maior pontuação do que os últimos. (RECAI; 2014). A ponderação dos parâmetros foi baseada na avaliação da importância de cada conjunto de dados e na condução de decisões de investimento e de implantação. A figura 4 ilustra o ranking de Ernst & Young.

**Figura 4 – Ranking Ernst & Young**

Rank	Previous ranking	Country	RECAI score	Technology-specific indices rankings							
				Onshore wind	Offshore wind	Solar PV	Solar CSP	Biomass	Geothermal	Hydro	Marine
1	(2)	China	75.1	1	2	1	4	1	12	1	19
2	(1)	US	73.8	2	3	2	1	3	1	3	9
3	(3)	Germany	67.0	3	4	5	26	8	9	10	27
4	(4)	Japan	64.4	10	9	3	27*	2	3	4	12
5	(5)	Canada	60.3	4	11	7	24	12	19	5	4
6	(7)	India	60.2	8	19	4	3	15	13	7	11
7	(6)	UK	59.2	7	1	11	27*	5	18	26	1
8	(8)	France	58.5	12	8	8	17	10	15	16	5
9	(10)	Brazil	57.0	6	26	14	9	4	32	2	24
10	(9)	Australia	56.7	16	17	6	6	22	11	18	10
11	(11)	South Korea	55.4	21	13	10	25	11	28	17	3
12	(13)	Chile	54.3	25	24	9	2	20	10	14	14
13	(15)	Netherlands	54.2	11	6	21	27*	9	26	31	30
14	(14)	Belgium	52.8	20	5	19	27*	16	20	30	31*
15	(12)	Italy	52.5	22	20	15	11	14	6	11	22
16	(17)	South Africa	52.3	26	29	13	5	37	35*	21	18
17	(16)	Denmark	51.7	14	7	30	27*	13	35*	37	16
18	(18)	Portugal	50.8	23	21	23	18	24	16	20	7
19	(20)	Turkey	50.7	15	25	26	12	32	5	9	20
20	(21)	Thailand	50.5	31	39	12	20	17	29	34	28
21	(22)	Sweden	50.4	9	12	37	27*	7	24	12	13
22	(19)	Spain	50.2	28	23	18	10	26	34	29	15
23	(23)	Taiwan	49.4	30	16	17	23	29	21	23	26
24	(25)	Mexico	48.7	24	31	25	19	31	8	28	21
25	(24)	Austria	48.6	19	39	24	27*	18	22	15	31*
26	(26)	Peru	48.0	34	27	20	15	27	14	6	31*
27	(28)	Israel	46.6	39	37	16	8	38	35*	35	25
28	(29)	Morocco	46.4	27	35	28	7	39	35*	39	31*
29	(27)	Poland	46.3	18	18	36	27*	19	17	25	31*

**Fonte: RECAI, 2014.**

Ao analisar o ranking, percebe-se que o Brasil encontra-se bem posicionado na geração de energia hidrelétrica, biomassa e eólica *onshore*. Porém, deixa a desejar quando se trata de energia solar, eólica *offshore*, geotérmica e marinha. Este assunto será abordado nos tópicos seguintes.

Devido ao longo período de seca, os reservatórios hídricos do Brasil encheram menos de 40% de sua capacidade, em um período que acredita-se que a demanda nacional por energia aumentará cerca de 50% na próxima década (RECAI; 2014), fato que comprova que o Brasil precisa desenvolver outros métodos de geração de energia.

## O Brasil e a energia Solar

A energia solar está em expansão no Brasil. O Governo brasileiro pretende alcançar a marca de 3,5 GW de energia solar nos próximos 4 anos. A geração atual é de apenas 11 MW. Porém, um fator negativo é que não traz alta lucratividade em prazo curto, pois os preços dos projetos solares ainda estão pouco atrativos, o que faz os investimentos em outras fontes de energia parecerem mais viáveis. (RECAI 2014)

Um bom exemplo de investimento recente nessa área foi a Usina Solar Fotovoltaica (USF) construída em 2014 no estádio Governador Magalhães Pinto, conhecido como Mineirão. A usina conta com 6.000 módulos e tem capacidade de 1,42 Mwp que será transmitida para rede de distribuição da Cemig. Este foi o primeiro estádio sede de jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 a possuir uma usina fotovoltaica (CEMIG; 2014). Tal usina encontra-se ilustrada na Figura 5.

**Figura 5 - Novo mineirão**



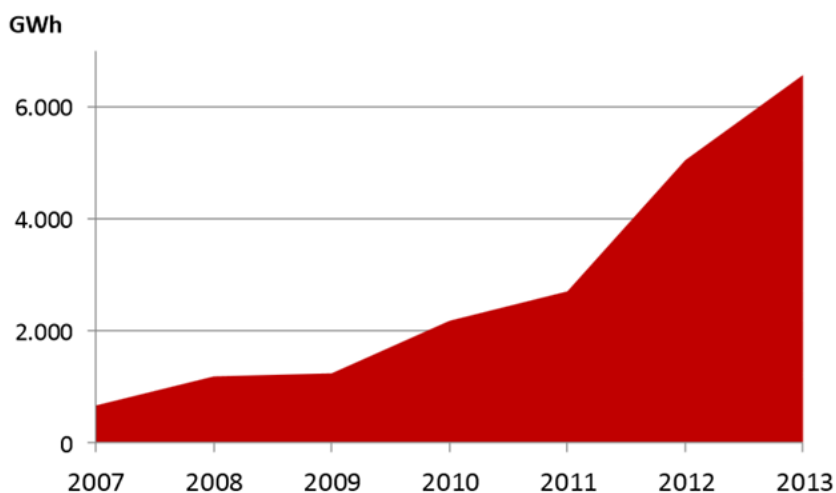
**Fonte: BRASIL 247, 2014.**

## O Brasil e a Energia Eólica

Desde o racionamento de energia em 2001, tem havido iniciativas para ampliar a participação da energia eólica na composição da matriz energética (FRANÇA, 2011). Assim como a solar, a energia eólica também está em expansão no Brasil. Isto pode ser comprovado ao se comparar dados: a geração de energia eólica em 2007 foi de 663 GW enquanto a de 2013 foi de 6.576 GW (EPE; 2014); fato que mostra um aumento de quase 10 vezes o total gerado em 6 anos. Outro fato importante foi o acréscimo de 30,2% da quantidade gerada de energia eólica entre os anos de 2012 e 2013 (EPE; 2014). Espera-se que novos parques eólicos estejam em funcionamento nos próximos anos, o suficiente para

alcançar 22,4 GW de geração eólica em 2023 (RECAI, 2014). Parte dessa progressão pode ser observada na figura 6.

**Figura 6 – Gráfico da Energia Eólica no Brasil**



**Fonte: EPE, 2014**

### **Energia Geotérmica**

Energia Geotérmica é a energia proveniente do calor natural do interior da Terra; porém, só é possível em países que possuem vulcões ou concentração de placas litosféricas (SOUZA, 2011). Essa tecnologia é utilizada no Japão, Estados Unidos e Itália (SOUZA, 2011). No Brasil, a energia geotérmica é usada quase que exclusivamente para fins recreativos, em parques de fontes termais, como Caldas Novas (GO), Piratuba (SC), Araxá (MG), Olímpia, Águas de Lindóia e Águas de São Pedro (SP) (VICHÍ, 2009), pois o país não possui recursos geotérmicos suficientes para produção de energia em grande escala.

### **Energia Oceânica**

A maior parte do planeta é composto por água. O oceano pode ser fonte de eletricidade a partir do movimento das ondas, correntes de maré, ventos, gradientes de temperatura e outras formas (SOUZA; 2011), porém pouquíssimas são utilizadas no Brasil.

Muitos estudos de geração de energia oceânica vêm surgindo todos os anos em



diversos países, porém o enfoque maior deste artigo é a geração de energia por meio do movimento das ondas (ondomotriz).

## **Energia Ondomotriz**

A energia gerada a partir do movimento das ondas encontra-se longe de ser totalmente explorada (BARROCA, 2012). Muitos projetos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, mas ainda nenhuma tecnologia possui capacidade de se impor de forma definitiva e estável tecnologicamente (BARROCA, 2012). É possível localizar estudos sobre o assunto em diversos locais, tais como Japão, América do Norte e Europa (DREW, PLUMMER, SAHINKAYA; 2009).

A energia das ondas é uma forma concentrada de energia solar e a formação do espectro de ondas dá-se principalmente pelo vento ao atuar sobre a superfície do oceano (OSTRITZ; 2012). Segundo Frederico Ostritz (2012), a formação e evolução do campo de ondas é proporcional a três principais fatores: a intensidade dos ventos que atuam sobre a superfície do oceano; o tamanho da área de atuação do vento e o tempo de duração da transferência de energia do vento para o oceano. As ondas podem conter dois tipos de energia: a energia potencial, proveniente da diferença de altura entre a onda e a superfície; e a energia cinética, fruto do movimento das partículas entre a crista e a cava. (OSTRITZ, 2012) Segundo Clément (2009), no processo de formação de ondas, uma intensidade de energia solar de 0,1 a 0,3 kW/m<sup>2</sup> em uma superfície horizontal é convertida para uma intensidade de fluxo médio de energia de 2-3kW/m<sup>2</sup> de um plano vertical perpendicular à direção de propagação de onda logo abaixo da superfície da água (CLÉMENT, 2009). Pode-se notar, portanto, que as ondas fornecem maior densidade de energia entre as fontes renováveis (CLÉMENT, 2009), podem produzir eletricidade até 90 % do tempo, comparadas com 20 a 30 % de energia solar e eólica (PELC, 2002). Outra vantagem da energia das ondas é que esta é capaz de viajar grandes distâncias com pouca perda de energia.

Para captação e transformação deste tipo de energia, utilizam-se conversores especiais, denominados WECs (*Wave Energy Converters*).

As formas de captação de energia das ondas por meio de WECs são muitas, sendo as mais conhecidas: Atenuadores, *Point Absorber*, AWS (*Archimedes Wave Swing*), Pelamis,

Diferencial de Pressão Submersa, Conversores de oscilação de onda, Coluna de água oscilante, Tapchan e *Wave Dragon*. (DREW, PLUMMER, SAHINKAYA; 2009).

## **Energia Oceânica no Mundo**

Muitos países têm investido em estudos e projetos de geração de energia elétrica a partir dos oceanos. Dentre esses países, pode-se citar Portugal, Irlanda, Dinamarca e EUA, dentre outros. Na Escócia, há uma extensa área de teste de energia, conhecida como EMEC, cuja sigla em português significa "Centro de Energia Marinha da Europa". O projeto da criação da EMEC foi lançado em 1999, mas a instalação preliminar foi concluída apenas em 2003. Em 2009, a EMEC teve suas instalações melhoradas devido a um investimento financeiro do DECC (Departamento de Energia e Mudanças Climáticas); e hoje, é uma extensa e complexa área destinada a testes, sendo utilizada por diversos países do mundo. (YUAN, WANG, SHI, GUO; 2011)

A fim de haver maiores avanços nas pesquisas de tecnologias de conversão de aproveitamento de energia dos oceanos, e conseqüentemente, maior desenvolvimento, foi criado o IEA-OES (Acordo de Implementação de Sistemas de Energia dos Oceanos) em outubro de 2001, que conta com a cooperação de diversos países interessados em estudar a energia oceânica em geral, que engloba energia proveniente de marés, ondas, correntes marítimas, gradientes de temperatura e gradientes de salinidade. (YUAN, WANG, SHI, GUO; 2011) O principal objetivo do IEA-OES é contribuir significativamente com as futuras demandas de energia, produzindo energia sustentável a custos competitivos até 2020. Os países participantes do Acordo são Austrália, Bélgica, Canadá, China, Dinamarca, Alemanha, Irlanda, Itália, Japão, Coreia, México, Mônaco, Nova Zelândia, Nigéria, Noruega, Portugal, África do Sul, Espanha, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos.

## **Energia oceânica no Brasil**

Segundo o documento "Tecnologia para um Futuro Sustentável" da COPPE/UFRJ publicada em 2012, estima-se que o potencial energético das ondas no Brasil é de 87 GW entre as regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Estudos da COPPE revelam ser possível converter cerca de vinte por cento desse potencial em energia elétrica (UFRJ, 2012).



Porque possui um litoral de quase 8000 km e está sob sistemas meteorológicos propícios à formação de ondas (incidência constante de sol e vento), o Brasil apresenta características favoráveis à implantação de plantas capazes de aproveitar tal energia (OSTRITZ; 2012). Apesar de seu potencial, o país não conta com grande movimentação de geração de energia a partir das ondas, mas vem apresentando estudos frequentes relacionados ao assunto; como exemplos destes têm-se:

- A Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em conjunto com a Tractebel Energia S.A. e com o Governo do Estado do Ceará inaugurou a primeira usina de ondas em 2012 no Porto de Pecém, no Ceará. (COPPE-UFRJ, 2012) Fato que foi de grande avanço para o país no desenvolvimento de geração de energia ondomotriz.
- O Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) é um dos maiores centros de pesquisa da América Latina, e também apresenta estudos a respeito do uso de novos dispositivos de geração de energia em conjunto com o mapeamento de energia dos oceanos no Brasil. O CENPES também desenvolve projetos em energia solar, energia eólica, hidrogênio, biomassa, biocombustíveis, eficiência energética, e desde 2004 também estuda a energia oceânica.
- A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) apresenta estudos de simulação das condições do mar na costa do Rio Grande do Sul, além do impacto ambiental para instalação de *WECs* offshore.

Apesar dos estudos existentes no mundo e dos esforços para popularizar esse tipo de energia, diz-se que essa tecnologia ainda não está madura o suficiente para ser empregada a preços competitivos, além de enfrentar muitas dificuldades, das quais as três principais são: 1. Qualquer que seja o tipo de tecnologia empregada, este tipo de geração sofre com o fenômeno da sazonalidade, dependendo diretamente do estado do mar, semelhantemente como ocorre com a energia eólica. 2. Os mecanismos de captação de energia ficam expostos a condições ambientais agressivas. 3. Necessidade de construção de modelos em grandes escalas, o que exige grandes investimentos e custos. (SOUZA, 2009)

## **O Porto de Pecém**

A usina foi instalada no Porto de Pecém, e gera energia a partir do bombeamento de água para uma câmara hiperbárica ligada a uma turbina Pelton (IEA OES). Uma bomba é acionada pelo movimento das ondas por meio de um conjunto formado por flutuador e braço mecânico. Tal bomba então pressuriza água doce, em um circuito fechado, e a armazena num acumulador conectado à uma câmara hiperbárica, onde a pressão equivale à de uma coluna d'água de 400 metros de altura, semelhante às encontradas nas quedas d'água das usinas hidrelétricas. Então, um jato de água pressurizada movimenta uma turbina que aciona o gerador, produzindo energia elétrica. Este foi um projeto inovador, uma vez que utiliza um sistema de alta pressão pra movimentar a turbina e o gerador; fato que diferencia a tecnologia brasileira das demais usinas de ondas em testes. (MARTIN, 2012)

Na Usina de Ondas Brasileira, foram instalados dois módulos (conjuntos de flutuador, bomba e braço mecânico) com capacidade de geração de 100 kW; mas o projeto inicial conta com dezenas de módulos, multiplicando a quantidade de energia. (MARTIN, 2012).

## **O Sistema Interligado Nacional**

A produção e transmissão de energia elétrica no Brasil é proveniente de um grande sistema, denominado Sistema Interligado Nacional (SIN) e é formado por empresas de energia nas regiões Sul, Norte, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do país. Apenas 1,7% da energia necessária no país se encontra fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. (BRASIL-ANEEL, 2008).

**Figura 7– Pequenos Sistemas Isolados x Sistema Interligado Nacional**



**Fonte: ANEEL, 2008**

Cerca de 70% da população brasileira se concentra próximo à linha costeira do país. Tal fato favorece o uso de energia oceânica, uma vez que causa redução de custos e das perdas durante a transmissão da energia. (OSTRITZ, 2012).

A análise da Figura 7 mostra a proximidade do SIN com a linha costeira, fato que torna possível a ligação de plantas oceânicas a ele; porém, além de questões técnicas, há questões econômicas e jurídicas que devem ser abordadas.

Cada tecnologia é mais ou menos adaptável às condições da costa. E cada um tem diferentes impactos ambientais, principalmente devido a planta da área de ocupação.

### **Interconexão ao SIN:**

Questões sobre a conexão ao sistema integrado estão relacionadas com geração na forma de alternância ou de corrente contínua, necessidade de conversão DC-AC, controle de frequência de saída e a distância entre a planta e o ponto de conexão.

## Questões Econômicas e Jurídicas:

Em 2005, Cunha e Onofrei afirmaram que “o nosso ainda escasso conhecimento sobre o mar, deve-se em parte ao elevado custo operacional das pesquisas nesta área”. (CUNHA, ONOFREI; 2010). Porém, o custo desse tipo de conversão de energia vem diminuindo, fato que permitiu a instalação e estudo de diversos *WECs* no mundo, em especial na costa oeste da Europa (SEUNG KIM, YOON KIM, SEUNG SONG; 2007).

Embora o plano Nacional de Energia, delineado por volta de 2007, tenha apontado a possibilidade de utilizar correntes marinhas das marés e energia das ondas, (BRASIL-EPE, 2007) este tipo de produção de eletricidade foi considerado não competitivo do ponto de vista econômico (BRASIL - ANEEL, 2008). É necessária uma análise deste aspecto, considerando a evolução tecnológica, mudanças no *mix* de energia e questões ambientais nos últimos anos.

#### **4. CONCLUSÃO:**

O ranking Ernst & Young posicionou o Brasil em 24º lugar na geração de energia marinha. Como visto na metodologia do ranking (Figura 3), um dos parâmetros adotados para pontuação é a maturidade da tecnologia, que consiste no uso desse tipo de energia no país.

Esse tipo de energia no Brasil ainda não é produzido em grande escala e comercializado, isto demonstra o nível de imaturidade deste tipo de tecnologia no país, porém estão surgindo estudos relacionados ao tema em diferentes pontos do Brasil, o que pode ser um indicador de que nos anos vindouros seja utilizado esse tipo de energia em grande escala no país, devido o seu potencial.

Outro fato importante é a proximidade da costa brasileira com o SIN, que mostra que é possível interligar sistemas de geração de energia das ondas no oceano com o sistema de eletricidade do país.

## 5. REFERÊNCIAS:

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil. Brasília**, 2008.

BARROCA, T.N.P. **Dimensionamento de um gerador linear para o aproveitamento das ondas**. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2012.

BRASIL 247. **Mineirão é o primeiro estádio da copa com energia solar**. Disponível em < <http://www.brasil247.com/pt/247/minas247/138952/Mineir%C3%A3o-%C3%A9-o-1%C2%BA-est%C3%A1dio-da-Copa-com-energia-solar.htm>>. BRASIL, 2014.

CEMIG. **CEMIG e governo estadual inauguram usina solar no Mineirão**, Disponível em <http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/Usina-Solar-do-Mineirao.aspx> BRASIL, 2014.

CLÉMENT, A. *Wave energy in Europe: current status and perspectives. Renewable Sustainable Energy. Power and Energy*, [s.l.], 2009.

COPPE UFRJ. **Cartilha “Um futuro Sustentável”**. Rio de Janeiro, 2012.

CUNHA, J.F, e ONOFREI, R. **Energia Oceânica**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2010.

DREW, B., PLUMMER, A.R. e SAHINKAYA. *A review of wave energy converter technology. Department of Mechanical Engineering. University of Bath*. Bath, UK, 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014-2023)**. Série Estudos da Demanda. Nota Técnica DEA 28/13. Rio de Janeiro, 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2014**. Relatório Síntese, Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014

GOLDEMBERG, J. **Pesquisa e Desenvolvimento na Área de Energia**. São Paulo, 2000.

IEAOES. **Annual Report 2008**. *International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems*. [s.l.], 2009.

INATOMI, T.A.H. e UDAETA, M.E.M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP/IEE). São Paulo, 2011

KIM, J.S., KIM, J.Y.; SONG, S.K. e PARK, J.B. **The Development of Detent Force Minimizing Permanent Magnet Linear Generator for Direct – Drive Wave Energy Converter**. *School of Electrical and Electronic Engineering*. Seoul, Republic of Korea, 2012.

LIU, C.T. **Compact Model of a Slotless Tubular Linear Generator for Renewable Energy Performance Assessment**. *IEEE Transactions on Magnetics*. Volume 46. Taiwan, 2010.

MARTIN, J.J.N. **Avaliação Econômica dos Recursos Energéticos das Ondas do Mar**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2012.

OSTRITZ, F.F. **Estimativa do Potencial Energético Gerado por Ondas na Costa do Brasil com ênfase no estado do Ceará**. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

PELC, R.; FUJITA, R.M. **Renewable energy from the ocean**. Mar. Policy, 2002.

RECAI. **Renewable Energy Country Attractiveness Index**. EY. Issue 42. Reino Unido, 2014.

SOUZA, R.A. **Escolha de Tecnologia de Conversão da energia das ondas em energia elétrica**. Universidade Federal do Rio Grande, 2011.

VICHI, F.M. e MANSOR, M.T.C. **Energia, Meio Ambiente e Economia: O Brasil no contexto mundial**. Quim. Nova, Volume 32, n.3. SÃO PAULO, 2009.

YUAN, P, WANG, S, SHI, H. GUO, P. **Overview and Proposal for Development of Ocean Energy Test Sites in China**. College of Engineering Ocean University of China. 2011.

## Artigo Científico II

### **Estudo da Viabilidade de Utilização de uma Máquina de Fluxo Transversal Linear como parte da Estrutura do Conversor de Energia das Ondas *Point Absorber*.**

---

Study of the Feasibility of Using a Linear Transverse Flux Machine as part of the Structure of Wave Energy Converter Point Absorber.

Ilana Pereira da Costa Cunha\*

Marcos Antonio Cruz Moreira\*\*

#### **RESUMO:**

Trata-se de um estudo de viabilidade de geração de energia das ondas por meio de uma Máquina de Fluxo Transversal ligada a um dispositivo de conversão de energia das ondas, conhecido como *Point Absorber*. O artigo contém revisão bibliográfica referente ao tema e análise de dados obtidos por meio de um protótipo construído em laboratório.

#### **ABSTRACT:**

*This is a feasibility study for the generation of wave energy by means of a cross flow machine connected to a device for converting wave energy, known as Point Absorber . The article contains a literature review on the topic and analyzing data obtained by means of a prototype built in the laboratory.*

\*Mestrando Engenharia Ambiental no IFF. Engenheira de Controle e Automação, graduada no IFF – Macaé em 2013.

\*\*Engenheiro Eletrônico e Mestre em Engenharia Elétrica; graduado e pós-graduado na UFRJ. Professor dos cursos técnicos, superior e mestrado no IFF – Macaé.



## 1. INTRODUÇÃO:

A demanda por energia elétrica é uma variável que tende a aumentar mais a cada ano. Com constantes discussões a respeito da relação geração de energia x mudanças climáticas, efeito estufa, e elevação dos níveis de CO<sub>2</sub>, torna-se necessário que haja investimento em novas tecnologias de geração de energia por fontes renováveis.

O tipo de energia gerada por fonte renovável passível de utilização com recursos brasileiros que está menos “madura” no momento é a energia oceânica, que pode ser proveniente da diferença de marés, dos gradientes de temperatura ou das ondas do mar. Porém, o presente trabalho tem seu foco nesta última modalidade.

O potencial para geração de eletricidade a partir das ondas do oceano é considerável, uma vez que o oceano é um recurso enorme de energia renovável. O aproveitamento da energia do oceano é um passo muito importante na obtenção dos alvos de energia renovável (DREW, PLUMMER; 2009).

As ondas concentram grande parte de energia, mas são em grande parte, inexploradas. A pesquisa nesta área é relativamente imatura em comparação com outras tecnologias de energia renovável. A energia das ondas é captada e convertida por um *WEC* (*Wave Energy Converter*). Há divergência sobre o melhor método de extração de energia das ondas (DREW, PLUMMER; 2009). Porém, este trabalho está baseado em algumas pesquisas que apontaram o *'Point Absorber'* como alternativa viável e mais interessante, se comparado a alguns outros *WECs*.

O potencial estimado de energia oceânica é superior a 100.000 Twh/ano (ORMAZA, 2012); sendo 45.000 TWh/ano o potencial de energia das ondas, 2.200 Twh/ano o potencial de energia das marés, 20.000 Twh/ano para energias provenientes de gradiente salino e 33.000 Twh/ano para energia térmica oceânica. Cabe ressaltar que o consumo de energia elétrica é de cerca de 16.000 Twh/ano (EREC, 2010 *apud* ORMAZA, 2012).

## **2. OBJETIVOS:**

### **Objetivo Geral:**

Estudar características de uma máquina linear de fluxo transversal construída em laboratório, com intenção de simular suas características de geração como um WEC do tipo '*Point Absorber*', utilizado para conversão de energia das ondas.

### **Objetivos Específicos:**

- Revisar literatura sobre ondas e geração.
- Revisar literatura a respeito de máquinas elétricas
- Analisar o comportamento do protótipo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

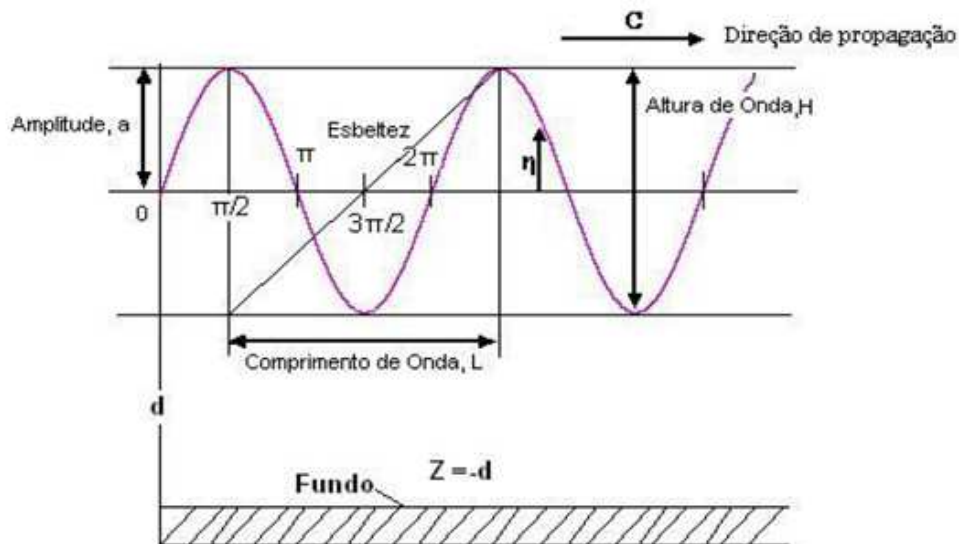
#### Ondas

Ondas são manifestações de forças agindo em um fluido tendendo a deformá-lo. (PIUMBINI, 2009). Portanto, estas necessitam de algum tipo de força para que ocorra a sua formação na superfície do fluido. Estas forças podem ocorrer mediante a ação do vento ou por uma pedra impactando a água, por exemplo. (PIUMBINI, 2009); sendo as ondas superficiais mais familiares as que são geradas na interface entre o oceano e a atmosfera, cujo principal agente formador é o vento atuante na superfície do oceano (OSTRITZ, 2012).

As características das ondas geradas pelo vento dependem primeiramente da intensidade do vento, do comprimento da pista (distância horizontal sobre a qual o vento atua, também conhecida como *fetch*) e da duração do vento (PIUMBINI, 2009). Porém, também é afetada por outros fatores como, por exemplo, a largura da pista, diferença de temperatura entre o ar e a água, variações de tempo e espaço no campo de vento durante a geração da onda, e, a profundidade da água e as condições do fundo. (PESTANA, 2009).

A figura 1 ilustra o perfil vertical de duas ondas sucessivas, para compreensão dos principais parâmetros das ondas.

**Figura 1: Parâmetros das Ondas**



Fonte: OSTRITZ; 2012

Sendo:

- H - altura de onda; ou seja, a distância entre a crista e a parte mais baixa (cavado).
- A – amplitude; ou seja, distância entre os extremos e o nível médio, equivalente à metade da altura.
- L – comprimento de onda; a distância entre duas cristas ou 2 cavados consecutivos
- $n$  – elevação da superfície em relação ao nível médio do mar.
- Esbeltez da onda – Razão H/L.
- T – Período; intervalo de tempo que duas cristas ou 2 cavados demoram para passar em um ponto fixo.
- F – Frequência; Número de cristas ou cavados que passam em um ponto fixo em um segundo.
- K – Número de ondas
- $\omega$  – Frequência Angular
- $d$  = profundidade local

Segundo Frederico Ostritz (2012), uma onda progressiva pode ser definida por uma variável espacial  $x$  e uma variável temporal  $t$ . A combinação entre tais variáveis é chamada de fase ( $\phi$ )

Uma vez já explicado cada um dos parâmetros individualmente, será mostrado um conjunto de equações que permitem estimar a energia contida no espectro, bem como o fluxo da mesma.

$$\phi = kx - \omega t \quad (1)$$

$$k = 2\pi/L \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi/T \quad (3)$$

A velocidade com que uma onda se propaga, denominada velocidade de fase ou celeridade é apresentada por:

$$c = \sqrt{\left(\frac{g}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)\right)};$$

## Energia das Ondas:

Foi realizado um estudo pelo Instituto da Marinha, IEAPM (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira) que usou a modelagem computacional para monitorar o comportamento das ondas no Brasil utilizando dados gerados por 5 ondógrafos no período de 10 anos, cada um em uma região diferente do país. Os resultados obtidos da pesquisa encontram-se na Tabela I.

**Tabela I – Características de Ondas nas Regiões do Brasil**

	latitude	longitude	Hs (m)			número de tempestades	duração média (horas)	
			média	$\sigma^2$	máxima		tempestade	calmaria
sul	32°S	047°W	2,1	0,8	7,8	649	74	70
sudeste	25°S	044°W	1,6	0,4	5,8	395	34	106
leste	22°S	037°W	1,8	0,3	4,8	521	50	92
nordeste	10°S	033°W	1,9	0,2	3,9	394	57	82
norte	01°N	039°W	1,7	0,1	3,3	349	35	237

**Fonte: CANDELLA, et.al., 2008.**

Os resultados da tabela mostram que a região Sul apresenta maior potencial de energia associado às ondas. A região sudeste apresenta menor altura média, o que indica que há, em uma certa proporção, períodos de tempestade e de calmaria com pouca agitação. A conclusão chegada neste estudo foi que a tendência na costa brasileira é que a intensidade das tempestades seja crescente da direção sul para norte. Porém, apresenta contribuição de agitação do mar nas ondas do nordeste. (CANDELLA, et.al, 2008) Em outros estudos do mesmo autor, foram analisadas as ondas da região sul da cidade de Arraial do Cabo, que permitiu os resultados de algumas características interessantes como por exemplo, a altura média das ondas, que na maior parte do tempo variou entre 100 e 200 cm em períodos de 11 a 13 segundos. Um segundo pico de energia veio de ESE (Leste-Sudeste) a SSE (Sul-Sudeste) com períodos predominando entre 7 e 9 segundos. (CANDELLA, PEREIRA, CARVALHO; 2000)

A energia contida nas ondas pode ser dividida em 2 partes: Energia Potencial Gravitacional e Energia Cinética.

## Energia Potencial Gravitacional:

Ocorre devido ao deslocamento de massa a partir de uma posição de equilíbrio contra o campo gravitacional. Quando a água está em repouso, a quantidade de energia potencial é mínima. Considerando uma pequena coluna de água, a energia potencial por unidade de área de uma senoidal é dada por:

$$d(Ep) = d_m g z$$

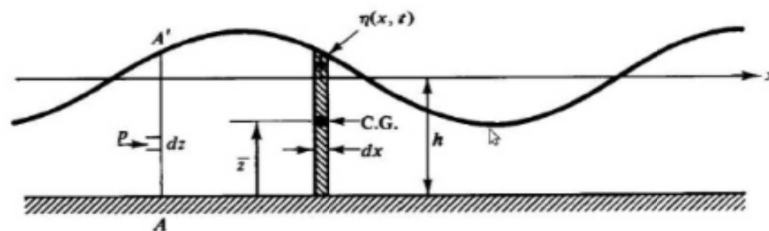
Onde  $d_m$  é a massa diferencial por unidade de largura e  $z$  é a altura do centro de gravidade da massa, expressos por:

$$z = \frac{h + \eta}{2}$$

$$d_m = \rho(h + \eta) dx$$

Em ambas as expressões,  $h$  e  $\eta$  representam a profundidade local e a elevação da superfície do mar, (OSTRITZ, 2012) como mostra a figura 2.

**Figura 2: Esquema de onda – energia potencial**



Fonte: OSTRITZ, 2012.

## Energia Cinética:

A energia cinética contida no campo de ondas está relacionada ao movimento, ou

seja, ao deslocamento de partículas devido à passagem consecutiva de cristas e cavados. (OSTRITZ,2012) A equação da energia cinética é:

$$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$$

onde  $v$  é a velocidade de deslocamento.

Em termos de magnitude, as energias cinética e potencial de um campo de ondas possuem aproximadamente o mesmo valor. Porém, a energia total de um campo de ondas é resultado da soma de ambas as energias:

Percebe-se ao se analisar as equações, que as energias não dependem da profundidade ou do comprimento de ondas, sendo proporcionais apenas ao quadrado da altura. (OSTRITZ, 2012).

Uma das vantagens de geração de energia das ondas é que estas são capazes de viajar grandes distâncias com pouca perda de energia, além do fato de que estas podem gerar potência em até 90% do tempo, em comparação com 20-30% para energia solar ou eólica (DREW, PLUMMER; 2009).

### **Obtenção da energia das ondas**

Para obtenção da energia das ondas, é necessário que estas passem por um dos dispositivos conversores de energia das ondas, conhecidos como *WEC (Wave Energy Converter)*, dos quais os mais utilizados são:

- Atenuadores (dispositivos flutuantes alinhados perpendicularmente em relação à frente de onda, flutuando e captando a energia quando são atravessados, efetuando um movimento progressivo ao longo do seu comprimento). (CUNHA, ONOFREI; 2010)
- Sistemas Oscilantes de Simetria Axial, também conhecido como *Point Absorber* (dispositivos flutuantes que absorvem energia proveniente de qualquer direção de uma onda, possuindo a capacidade de absorver energia de uma área maior que suas próprias dimensões) (CUNHA, ONOFREI; 2010).

- Conversores Oscilantes de Translação das Ondas – OWSC (dispositivos fixos submersos que possuem a parte coletora próxima da superfície e, portanto, aproveitam a energia criada por vagas de ondas e pelo movimento de partículas de água provocadas por elas, através de um braço oscilatório de movimento pendular invertido.) (CUNHA, ONOFREI; 2010)
- Coluna de Água Oscilante – CAO (estruturas parcialmente submersas, em forma de câmara, que permite que uma coluna de água oscile, subindo e descendo por movimento das ondas, promovendo a compressão e descompressão do ar contido na câmara). (CUNHA, ONOFREI; 2010)
- Dispositivos de Galgamento (São dispositivos que utilizam o galgamento da onda por uma estrutura semi-submersa em formato de rampa, que tem a função de elevar a água do mar e capturá-la em um reservatório. Após isto, a água retorna ao mar acionando uma turbina. (CUNHA, ONOFREI; 2010)
- Dispositivos Submersos de Diferença de Pressão (São dispositivos submersos e fixos no leito marinho. A passagem das ondas provoca pressão diferencial neste, correspondendo a um movimento tipo pistão de um sistema hidráulico para gerar eletricidade); (CUNHA, ONOFREI; 2010).

### ***Point Absorber***

Entre os diferentes tipos de WECs, o Point Absorber foi a tecnologia escolhida para ser utilizada no presente trabalho, pois o mesmo apresenta uma tecnologia simples e robusta, com transmissão direta de energia. Tal tecnologia também mostrou-se mais eficiente e vantajosa na conversão do movimento de oscilação de baixa velocidade das ondas; além da vantagem de não liberar gases poluentes para atmosfera. (PASTOR, 2014).

O *Point Absorber* é um dispositivo que possui pequenas dimensões relativas ao comprimento de onda incidente, fato que permite que o mesmo capte a energia das ondas provenientes de qualquer direção. (DREW, PLUMMER; 2009)

Ao se comparar o *Point Absorber* com os demais tipos de WECs, os *Point Absorbers* mostram-se mais adequados, pois este é relativamente pequeno em tamanho e pode ser usado em diferentes profundidades de água; fato que torna esse sistema ideal para manter a



energia relativamente próxima do local onde esta é necessária (PASTOR, 2014). O esquema de funcionamento dessa tecnologia pode ser observado na figura 3.

**Figura 3: Esquema do WEC *Point Absorber***



Fonte: NAZARI, 2013.

## **Funcionamento**

O WEC PA é uma bóia flutuante que se move de acordo com o movimento das ondas, e é ligada a um sistema fixo, que possui a função de extrair parte da energia das ondas e converter em eletricidade. (HOLMBERG et.al., 2011)

Dispositivos *Point Absorber*, também conhecidos como Sistema Oscilante de Simetria Axial, podem ser usados na maioria dos estados do mar, possibilitando os mesmos a serem instalados em áreas *nearshore e/ou offshore*. (HOLMBERG et.al., 2011)

Acredita-se que a eficiência na absorção de energia proveniente de qualquer direção decorrente dos movimentos da superfície da água à passagem de uma onda é possível em vista do uso de um gerador linear, ao invés dos geradores rotativos convencionais (CUNHA, ONOFREI; 2010), fato que será explorado nos próximos tópicos.

*Point Absorber* é variável e montado no fundo do mar com o objetivo de absorver energia em todas as direções através de seus movimentos na superfície da água. A energia do oceano é então convertida por sistemas mecânicos e/ou hidráulicos em movimento linear ou angular para condução de geradores elétricos (CZECH, 2012).

## ***Point Absorber* no Mundo**

Há WECs *Point Absorber* em testes em diversos lugares do mundo. Neste tópico serão citados apenas alguns exemplos destes:

- *Seabased*, em Uppsala, Suécia - Os dispositivos possuem de 1 a 1,5 metros de diâmetro e pesam cerca de 5 toneladas. (HOLMBERG et.al.,2011). Os sistemas utilizam placas de montagem de acordo com as condições do fundo do mar. A corrente elétrica gerada a partir das unidades individuais varia tanto em frequência quanto em amplitude.
- *Wavebob*, na Irlanda - O dispositivo foi instalado em águas profundas, em local próximo de plataformas *offshore*. É um dispositivo maior (seu tamanho varia de 10 a 25 metros) (ELFORSK), mais pesado e seguro, que possui grande potência e sua expectativa de vida é de 25 anos ou mais. É mais adequado para ondas largas (HOLMBERG et.al.,2011)
- *Power Buoys* - Estão sendo construídos pela *Columbia Technologies* a cerca de 2 a 3 milhas da costa, e sua energia é transmitida por meio de cabos até a costa. Consiste em uma estrutura frouxamente amarrada à boia que se eleva e cai sobre as ondas. A energia é convertida através de um dispositivo de tomada de força, um eletrogerador e um sistema eletrônico de controle.

### **Impactos Ambientais causados pelo *WEC Point Absorber*:**

O *Point Absorber* tem como objetivo gerar energia de forma limpa e sustentável; portanto, os fatores ambientais são de enorme preocupação (SEABASED, 2014).

Os produtores do *Seabased* garantem que em seu produto foi minimizado o uso de produtos químicos e óleos, e que a proteção contra corrosão e pintura foi feita com as melhores práticas ambientais; porém, há previsão de alguns impactos ambientais, tais como:

- A área submarina utilizada torna-se indisponível para a habitação de organismos.
- A introdução de um novo órgão no local. Está prevista a criação de um novo habitat em favor de alguns organismos .
- Ruído do transformador na subestação (SEABASED, 2014).

Isto acontece com todas as novas tecnologias. O ônus da prova recai sobre a tecnologia. O projeto é conservador e possui rigorosos programas de monitoramento

ambiental (PASTOR, 2014).

É importante citar que acredita-se que as instalações das matrizes possam criar locais seguros para o crescimento marinho de algumas espécies, tais como algas marinhas, cracas e outros invertebrados, pois a estrutura marinha pode se tornar recifes artificiais. (SEABASED, 2014).

### **Eficiência do Point Absorber**

A eficiência de absorção do *Point Absorber* demonstra a capacidade do equipamento em captar a potência mecânica das ondas; e esta é definida como a razão da potência absorvida pelo equipamento pela potência disponível por área; ou seja:

$$\eta = \frac{P_{abs}}{P}$$

A potência absorvida, e portanto, a eficiência, são influenciados por diversos fatores, tais como: a velocidade da bóia, coeficiente de amortecimento, frequência e altura das ondas.

Segundo estudo realizado por PASTOR (2014), estima-se que a eficiência de uma bóia do tipo Point Absorber, pode demonstrar eficiência de 20% a 100%, dependendo da altura da onda. Portanto, torna-se necessário obter um valor médio de eficiência para cálculos. Nesse caso, 60%.

### **Eletromagnetismo**

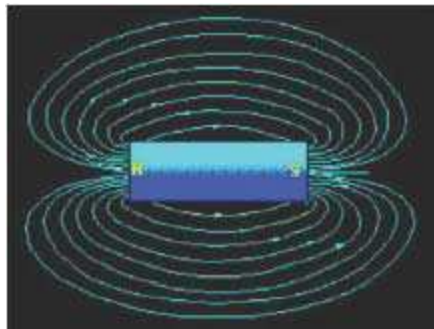
O eletromagnetismo é um conceito formado a partir da junção de conceitos de magnetismo e eletricidade. O magnetismo, como qualquer forma de energia, é originado na estrutura física da matéria – átomo. É sabido que os elétrons do átomo giram em volta de seu eixo e em volta de seu núcleo. Em muitos materiais há uma combinação entre a direção e sentido dos elétrons, causando compensação e efeitos magnéticos neutros. Porém, em alguns determinados materiais, quando uma quantidade de elétrons gira para um sentido, e um número menor de elétrons gira em outro sentido, pode causar uma resultante magnética,

formando um campo magnético. (SAMBAQUI, 2008).

## O Campo Magnético e suas Linhas

Campo magnético é a região ao redor de um ímã, na qual ocorre uma força magnética de atração ou de repulsão. A representação visual do campo é feita através de linhas de indução magnética, também chamadas de linhas de fluxo magnético, que são linhas imaginárias fechadas, que saem do pólo norte e entram no pólo sul (SAMBAQUI, 2008).

**Figura 4: Demonstração de linhas de campo Magnético**



**Fonte: SAMBAQUI, 2008.**

Caso dois ímãs de polaridades diferentes se aproximarem, resultará em uma força de atração entre eles, pois as linhas de campo se concentrarão nesta região. Caso haja uma aproximação de dois ímãs de igual polaridade, as linhas de campo divergirão, causando repulsão entre eles. (SAMBAQUI, 2008)

## Fluxo Magnético

O fluxo magnético é definido como a quantidade de linhas de campo que atingem perpendicularmente uma determinada área. A unidade de fluxo magnético é o Weber (Wb), sendo que um Weber corresponde a  $10^8$  linhas do campo magnético. (SAMBAQUI, 2008)

## **Densidade de Campo Magnético**

A densidade de campo magnético é uma variável vetorial determinada pela relação entre o fluxo magnético e a área de uma determinada superfície perpendicular à direção do fluxo. A densidade de campo magnético pode também ser chamada de densidade de fluxo magnético ou simplesmente campo magnético. Esta é representada pela letra B e sua unidade é o Tesla (T).

A direção do vetor B é sempre tangente às linhas de campo magnético em qualquer ponto. O sentido do vetor densidade de campo magnético é sempre o mesmo das linhas de campo.

O número de linhas de campo magnético que atravessam uma dada superfície perpendicular por unidade de área é proporcional ao módulo do vetor B na região considerada. Ou seja, quanto mais próximas estiverem as linhas de indução umas das outras, o valor do vetor B será maior. (SAMBAQUI, 2008).

## **FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS**

### **Descoberta de Oersted**

Hans Christian Oersted, professor e físico dinamarquês, observou durante um experimento, em 1820, que uma corrente elétrica era capaz de alterar a direção de uma agulha magnética de uma bússola; chegando a conclusão de que todo condutor percorrido por corrente elétrica cria um campo eletromagnético em torno de si.

### **3° Lei de Newton: Ação e Reação**

A partir dos conceitos da ação e reação conclui-se que um condutor percorrido por corrente provoca uma força de origem magnética capaz de mover a agulha da bússola, que é um ímã, então um ímã deve provocar uma força num condutor percorrido por corrente. (SAMBAQUI; 2008)

## **Demais descobertas**

No mesmo ano que Oersted comprovou a existência de um campo magnético produzido pela corrente elétrica, o cientista francês André Marie Ampère, preocupou-se em descobrir as características do tal campo. Algum tempo depois surgiram outros pesquisadores como Michael Faraday, Karl Friedrich Gauss e James Clerk Maxwell, que desenvolveram muitos conceitos do eletromagnetismo. (SAMBAQUI; 2008)

## **Fontes de Campo Magnético**

É possível gerar campos magnéticos através da corrente elétrica em condutores. Se estes condutores tiverem a forma de espiras ou bobinas, pode-se gerar campos magnéticos muito intensos. (SAMBAQUI, 2008)

## **Campo Magnético gerado em torno de um Condutor Retilíneo**

Nesse caso a intensidade do campo depende da intensidade da corrente; ou seja, uma corrente intensa produz um campo intenso, com inúmeras linhas que se distribuem até regiões bem distantes do condutor. (SAMBAQUI, 2008)

## **Campo Magnético gerado no centro de uma Espira Circular**

Uma espira circular quando percorrida por corrente elétrica pode concentrar as linhas do campo magnético no interior da espira. Isso mostra que a densidade de campo magnético resultante no interior da espira tende a ser maior que a produzida pela mesma corrente no condutor retilíneo.

## **Campo Magnético gerado no centro de uma Bobina Longa ou Solenóide**

Solenóide é uma bobina longa obtida por um fio condutor isolado e enrolado em espiras iguais, lado a lado, e igualmente espaçadas entre si. Quando a corrente passa pela

bobina, os campos magnéticos das espiras da solenóide são somados; fato que cria um campo magnético praticamente igual ao criado pelos ímãs permanentes em forma de barra. Quanto mais próximas estiverem as espiras, mais intenso é o campo magnético. (SAMBAQUI, 2008)

### **Eletroímã:**

É uma bobina enrolada em torno de um núcleo de material ferromagnético de alta permeabilidade, capaz de concentrar o campo magnético. Quando a corrente acaba, o ímã perde a magnetização, devido ao seu baixo magnetismo residual.

### **Campo Magnético gerado por um Toróide**

Toróide é um solenóide em formato de anel. Geralmente são feitos de núcleos de ferrite e seu núcleo pode ser composto por ar ou material ferromagnético. Os toróides podem proporcionar maior concentração das linhas de campo magnético.

### **Conclusão de Faraday:**

Faraday chegou a conclusão de que a presença do campo magnético, por si só, não gera corrente elétrica; pois para haver corrente, é necessário que haja variação do fluxo magnético. Segundo Faraday, caso haja uma variação de fluxo magnético próxima a um condutor, bobina ou circuito, aparecerá uma diferença de potencial (ddp) chamada de força eletromotriz induzida (fem). Se o circuito estiver fechado, também aparecerá uma corrente elétrica induzida. Então, surgiu a Lei de Faraday, que diz que em qualquer condutor, enquanto sujeito a uma variação de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (tensão) induzida. (SAMBAQUI, 2008)

A lei de Faraday é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\varphi\beta}{\Delta t}$$

onde  $\Delta\varphi\beta$  corresponde à variação de fluxo magnético e  $\Delta t$  à variação de tempo.

## **Lei de Lenz:**

No experimento de Faraday, ele reparou que quando o fluxo magnético variante era crescente, a corrente induzida tinha um sentido, mas quando o fluxo magnético variante era decrescente, a corrente assumia o sentido contrário. Portanto, a Lei de Lenz é dada como a lei de Faraday com o sinal negativo.

Segundo Lenz, o sentido da corrente induzida é tal que origina um fluxo magnético induzido, que se opõe à variação do fluxo magnético indutor. O experimento de Lenz mostrou que, caso o circuito for fechado, a polaridade da força eletromotriz induzida será capaz de permitir circular uma corrente que cria um fluxo magnético, chamado de fluxo magnético induzido, que se opõe à variação do fluxo magnético indutor causador da tensão (fem) induzida.

## **Tensão Induzida em Condutores que cortam um Campo Magnético**

Quando um ímã se movimenta nas proximidades de um condutor ou bobina induz força eletromotriz (tensão). Portanto, quando um condutor se movimentando dentro de um campo magnético provoca variação de fluxo magnético sobre sua superfície longitudinal (corta linhas de campo) e sofre, indução da força eletromotriz. Caso o circuito esteja fechado, circula uma corrente induzida provocada pela força eletromotriz induzida.

O fluxo magnético depende da densidade do campo magnético, da área do condutor atingida pelas linhas do campo magnético e do ângulo em que atingem o condutor. Portanto, existe uma relação ortogonal entre as direções do fluxo magnético, do movimento relativo do condutor (ou bobina) e da corrente induzida. (SAMBAQUI, 2008)

## **O princípio do Eletromagnetismo – Equações de Maxwell:**

Todas as fórmulas vistas até agora foram deduzidas em laboratório, de forma independente. Maxwell, então, estuda cada uma das fórmulas em conjunto, referenciando o campo eletromagnético juntamente com as demais variáveis, dando origem a quatro equações, que ficaram conhecidas como Equações de Maxwell. São elas:



$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot B = 0, \quad \nabla \times B = \mu_0 j + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

No vácuo,

$$\nabla \cdot E = 0, \quad \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot B = 0, \quad \nabla \times B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

As equações de Maxwell são usadas nos dias de hoje como base para o eletromagnetismo e,consequentemente para geração de energia por indução em geradores.

## **Tipos de Geradores Elétricos**

Existem diversos tipos de geradores elétricos utilizados na geração de energia. Cada um deles possui características próprias e portanto, vantagens e desvantagens da utilização para determinados fins. (FERNANDES, 2011). Porém, estes dividem-se em duas categorias principais: geradores rotativos e geradores lineares.

### **Geradores Convencionais – Rotativos**

A característica principal de um gerador elétrico é transformar energia mecânica em elétrica. Estas máquinas são baseadas na Lei de Faraday, ou seja, elas utilizam ímãs permanentes ligados a um rotor que se move em volta de um estator com bobinas, gerando uma tensão induzida em um campo eletromagnético. (WEG, 2010)

### **Geradores Lineares**

O funcionamento deste tipo de geradores baseia-se no mesmo princípio de indução das máquinas elétricas rotativas. A propulsão em um gerador linear é causada pela mesma

força magnética que faz o rotor de um motor girar. O torque no eixo de um motor convencional (produto da força pela distância do centro do rotor até a circunferência do estator) é equivalente a força tangencial de um motor linear. No entanto, este gerador linear apresenta aspectos funcionais específicos que se refletem nas suas características e no seu desempenho. Uma característica importante do gerador linear encontra-se na possibilidade da densidade de fluxo magnético ser dimensionada independentemente da densidade de corrente elétrica, ou seja, neste tipo de gerador, o circuito elétrico e o circuito magnético são independentes.

Os ímãs se movimentam com o translator, portanto, os entreferros de ar se encarregam de fazer a separação entre este e o estator. (BARROCA, 2012).

Como qualquer máquina, os geradores lineares também possuem vantagens e desvantagens, as quais serão listadas a seguir:

### **Vantagens do uso de geradores lineares na produção de energia das ondas**

São muitas, das quais se destacam a eficiência elevada; a estrutura de simples fixação e a capacidade de conversão de ondas de baixa frequência (AROF, 2004).

### **Desvantagens do uso de geradores lineares na produção de energia das ondas**

A principal desvantagem é a presença de oscilações indesejáveis que podem variar a potência de saída, encurtar o tempo de vida da estrutura e aumentar o custo de manutenção. Tais oscilações são chamadas de força cogging (AROF, 2004); porém, estas também podem ser observadas nos geradores rotativos.

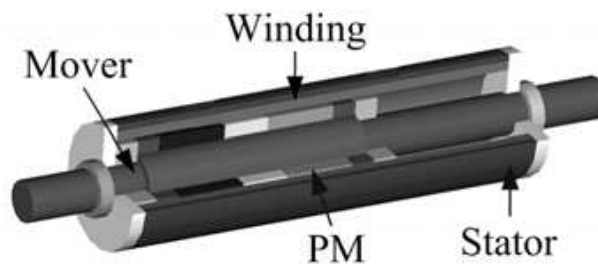
### **Cogging**

É uma força que tende a surgir entre os dentes do estator e do eixo, perturbando o movimento do eixo. Tal força é gerada a partir da interação dos dentes de estator com a excitação magnética do campo que se fixa no eixo (FAIZ, 2010).

Conforme Antonio Falcão publicou em seu artigo "*Wave Energy Utilization: A review of*

*the technologies*” em 2009, a principal desvantagem da captação de energia das ondas é a sua variabilidade. Por esta razão, o uso de gerador linear no processo de geração de energia através de ondas do oceano torna-se vantagem, pois este atende qualquer onda incidente, independente de sua direção de propagação. Tal gerador possui uma estrutura simples e é capaz de fornecer elevados desempenhos mesmo em baixas velocidades, implicando em alta confiabilidade. (LIU, 2010).

**Figura 7: Componentes do Gerador Linear**



**Fonte: LIU, 2011.**

Uma vez que na prática as transições entre os valores máximos e mínimos das funções em questão, se processam de um modo relativamente lento, é de prever que a função possua um andamento mais suavizado e, mais aproximado a uma onda sinusoidal do que a uma onda triangular. (BARROCA, 2012).

### **Geradores de ímãs permanentes**

Os geradores que possuem excitação baseada em ímãs permanentes mostram-se uma alternativa promissora para os sistemas de conversão de energia (FERREIRA, 2011).

As características básicas que classificam as máquinas de ímãs permanentes são apresentadas na tabela I.

**Tabela I – Classificação de máquinas de ímãs permanentes.**

<b>Fluxo no Entreferro</b>	<b>Fluxo no Núcleo do Estator</b>	<b>Designação</b>
Radial	Transversal	Fluxo Transversal
Axial	Transversal	Fluxo Transversal
Radial	Longitudinal	Fluxo Radial
Axial	Longitudinal	Fluxo Axial

**Fonte: FERREIRA, 2011**

O tipo de gerador que parece se adequar melhor ao tipo de WEC escolhido é o gerador linear, por isto o foco deste trabalho será neste.

### **Máquinas de Fluxo Transversal**

Máquinas Elétricas Trifásicas, assim como a maioria das máquinas rotativas, podem possuir o mesmo princípio de funcionamento de motores ou geradores (MATTOS, 2005). A Máquina de Fluxo Transversal pode ser designado como um gerador, pois utiliza um circuito magnético no local em que linhas de fluxo se dispõem no plano transversal à direção do movimento e circulação da corrente. (BARROCA, 2012). Seu funcionamento se baseia no mesmo princípio de geração das máquinas elétricas rotativas; apresentando porém alguns aspectos funcionais específicos, tais como a possibilidade de dimensionar a densidade de fluxo magnético independente da densidade de corrente elétrica; que significa que seus circuitos magnético e elétrico são independentes (BARROCA, 2012).

Os geradores que utilizam ímãs permanentes no seu sistema de excitação são uma boa alternativa para sistemas de conversão de energia, pois tais sistemas garantem um total desacoplamento entre o sistema de geração e a rede/carga, devido ao fato de sua interface com a rede ocorrer através de um conversor de potência. (FERREIRA, 2011) Outra vantagem é a grande fiabilidade e baixa manutenção devido a eliminação da caixa de velocidades, que são requisitos de grande importância ao se tratar de aplicações em alto ma. (FERREIRA, 2011).

Assim como os geradores rotativos convencionais, o gerador de fluxo transversal

possui uma parte fixa (estator) e uma parte móvel (rotor). Esta configuração utiliza ímãs presos ao rotor para aumento da intensidade do campo eletromagnético

Para permitir que o rotor se movimente, geralmente há um espaço entre as duas peças, conhecido como entreferro de ar. Existem diversas topologias de máquinas elétricas; porém, neste trabalho será estudado apenas as máquinas elétricas de ímãs permanentes. Estas possuem 3 aspectos fundamentais, que causam a distinção entre elas. São eles: a orientação do entreferro de ar, a do fluxo no núcleo do estator e a dos ímãs permanentes (FERNANDES, 2012); cuja explicação encontra-se a seguir:

### **Orientação quanto ao entreferro de ar**

O entreferro de ar pode ser radial ou axial. Estes tipos de orientação ditam a separação entre o rotor e o estator da máquina. Quando o entreferro de ar é radial, a máquina possui o rotor móvel envolvido pelo estator fixo, como na maioria dos geradores; porém, quando o entreferro de ar é axial, o rotor e o estator da máquina são separados e colocados lado-a-lado (FERNANDES, 2012).

### **Orientação quanto ao fluxo do núcleo do estator**

A orientação quanto ao fluxo do núcleo do estator dá-se pela posição espacial entre a direção do fluxo no estator em relação à direção de rotação da peça móvel. Esta orientação pode ser longitudinal (a direção do fluxo no estator é paralela à direção de rotação da peça móvel) ou transversal (a posição relativa entre as duas é perpendicular). (FERNANDES, 2012)

### **Orientação quanto ao ímã permanente**

A orientação dos ímãs permanentes é diferente em cada montagem, mas basicamente os ímãs podem ser montados com a orientação do fluxo perpendicular ao movimento da peça móvel ou paralelo à mesma.

Ao se comparar ambas as topologias, nota-se que elas possuem vantagens e desvantagens. As principais vantagens dos ímãs com orientação perpendicular são menores forças de repulsão entre os ímãs e o fato do campo de indução magnética depender da altura do ímã e isso não afetar o número de pares de polos da máquinas. A principal desvantagem é a menor intensidade do campo de indução magnética que é gerada para o estator. Em contrapartida, quando a orientação do ímã é paralela, o campo de indução que passa para o estator é maior, pois gera o fluxo no estator com o fluxo de dois ímãs permanentes, todavia, as forças de repulsão entre os ímãs é bem maior (FERNANDES, 2012).

### **Eficiência do Gerador Linear com Ímãs Permanentes e Fluxo Transversal utilizado**

Segundo BANG (2010) e SVECHKARENKO (2010), ao utilizar-se o gerador linear como opção em geração de energia eólica, este mostra eficiência de cerca de 97%. Porém, quando se estuda a respeito da eficiência do gerador linear na obtenção de energia ondomotriz, estes valores variam de acordo com a frequência e altura da onda, causando uma sazonalidade na eficiência da geração de energia de cerca de 50% a 95% (POLINDER, 2007). Neste caso, é possível tratar a eficiência do gerador linear na geração de energia das ondas, como o valor médio de 72,5%.

### **Eficiência dos Geradores Lineares na Geração de Energia Ondomotriz Captada por um WEC Point Absorber**

Como apresentado anteriormente, estima-se a eficiência da captação de energia das ondas por meio do WEC Point Absorber em 60%. A eficiência do gerador linear utilizado no sistema é de 72%. Portanto, é possível a realização do cálculo de eficiência energética, tendo que:

$$n = 0,6 \times 0,72 = 0,43.$$

A eficiência energética do sistema é de cerca de 43%.

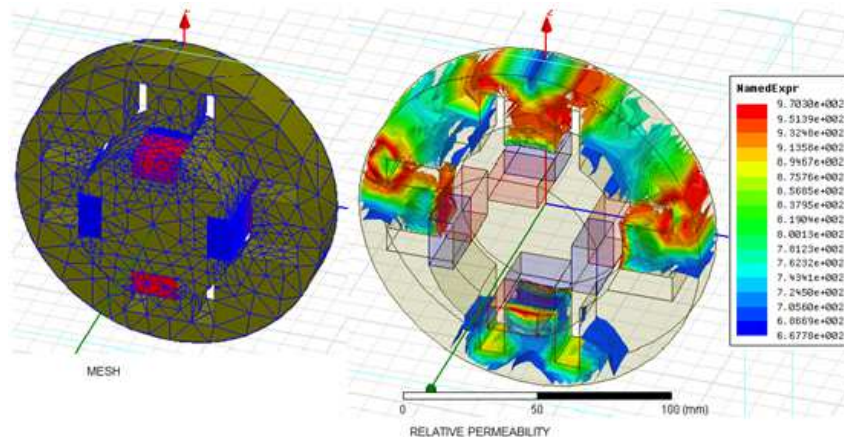
## 4. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em cinco fases, que estão descritas a seguir.

- 1º Fase - Revisão de Literatura e Amadurecimento da Ideia Proposta;
- 2º Fase - Simulação de algumas características em Elementos Finitos;
- 3º Fase - Construção do protótipo;
- 4º Fase - Testes de Geração;
- 5º Fase - Relatório e Conclusões.

É comum a topologia Máquina de Fluxo Transversal (MFT) estar associada a alguns problemas, tais como alto fluxo de dispersão e processo de fabricação complicado; portanto, torna-se interessante a construção do protótipo a partir de componentes de máquinas rotativas tradicionais com o emprego de ímãs permanentes enterrados no rotor. Além disso, o projeto do ímã enterrado pode experimentar uma desvantagem chamada "curto-circuito" (COSIC, 2010). Estas questões recomendam o uso de Análise de Elementos Finitos (FEA) para avaliar fluxo, densidade de fluxo magnético e nível de magnetismo saturação em material não-linear. Isto foi feito utilizando o pacote de software Maxwell 16,0. Os resultados da simulação relativa a estes aspectos são apresentados na figura 8. A grandeza física representada na figura é a distribuição de permeabilidade relativa no interior de um material não-linear (armadura de aço); ou seja, a intensidade do campo magnético realmente presente no interior do material.

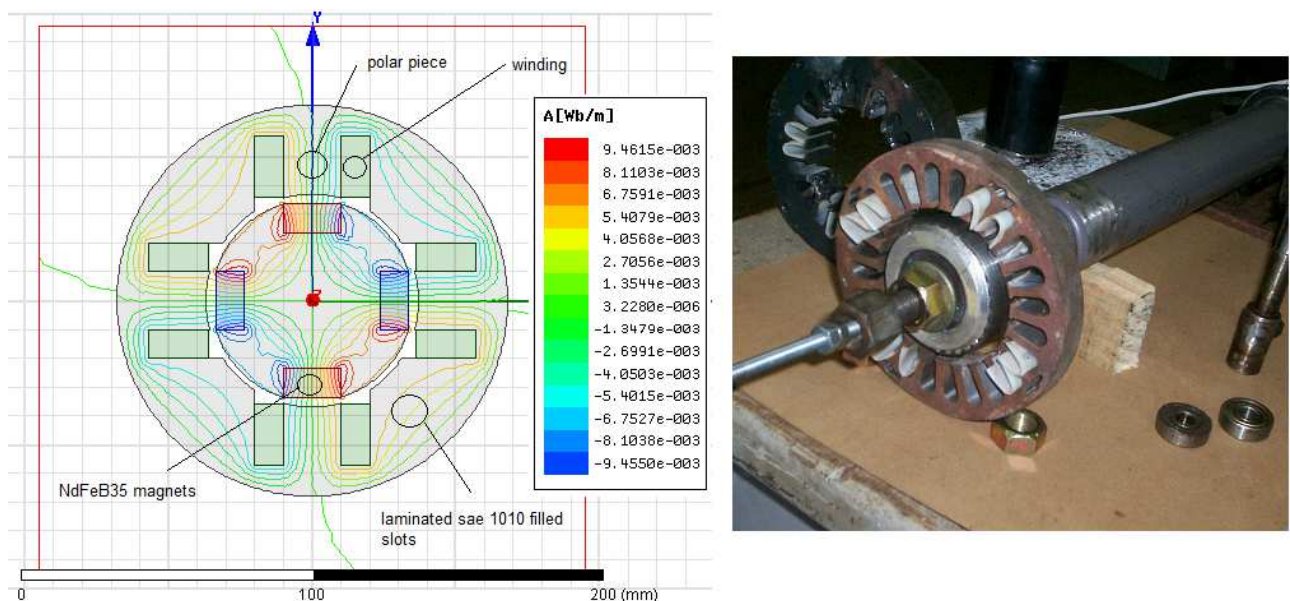
**Figura 8: Simulação da distribuição de permeabilidade relativa**



Fonte: Os Autores, 2014.

Os resultados preliminares da análise de FEM sugeriram que, não obstante as dificuldades apontadas anteriormente a configuração proposta demonstra fluxo magnético nas peças polares da armadura ( $2.2 \times 10^{-4}$  Wb), o que permitiu a construção do protótipo. Isto foi realizado mediante inserção de quatro bobinas simétricas nas peças de ferro conectadas em série e enchendo os demais espaços com aço SAE 1020. Os quatro pares de ímãs montados no rotor foram colocados com polaridades invertidas radialmente e axialmente. A figura a seguir ilustra a fase inicial de construção do protótipo.

**Figura 9: Simulação e fotografia do gerador em fase inicial**



**Fonte: Os Autores, 2014.**

## 5. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO:

O protótipo do gerador foi construído no laboratório de mecânica e soldagem do Instituto Federal Fluminense, com a ajuda do laboratorista João Amaro. A criação e montagem do gerador foi feita a partir de materiais reaproveitados, que estão descritos nos tópicos a seguir:



## Pistão:

Para o atuador do gerador foi usado um amortecedor de automóvel reaproveitado. O amortecedor é um equipamento componente do sistema de suspensão do carro. Ele é composto por 2 elementos totalmente diferentes que trabalham em conjunto. Um é uma espécie de reservatório que armazena o óleo e/ ou gases específicos para este fim, e o outro atua como um pistão, que se move quando o automóvel passa por buracos ou irregularidades na pista, fazendo que o óleo contido no amortecedor se movimentar pelos tubos de pressão e reservatório, atravessando as válvulas do pistão e de base (TENNECO, 2010).

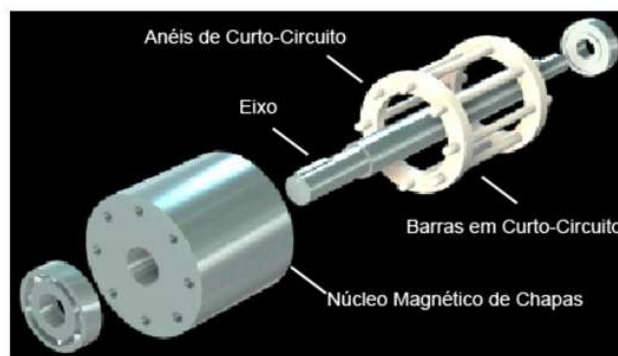
A parte do amortecedor que armazena o óleo foi furada, a fim de retirar o óleo contido, para que o mesmo não resultasse em força no momento de utilização, fazendo com que o rotor do gerador ficasse mais pesado.

## Corpo do pistão:

O corpo do pistão foi feito a partir de uma usinagem que usou peças do tipo gaiola de esquilo, reaproveitada de um ventilador.

O rotor em gaiola de esquilo é o mais utilizado na indústria por possuir construção relativamente simples, pouca necessidade de manutenção e custo reduzido. Um esquema desse tipo encontra-se ilustrado na figura 11.

**Figura 11: Esquema do rotor gaiola de esquilo e seus componentes**



**Fonte: Oliveira, 2009.**

Ao analisar-se a figura, percebe-se que não há bobinas no rotor; apenas barras de material condutor unidas por anéis condutores. O nome "gaiola de esquilo" ou "rotor engaiolado" vem justamente em referência às barras e anéis, que formam uma gaiola similar às gaiolas feitas para esquilos, usadas nos Estados Unidos.

O funcionamento dessa estrutura dá-se da seguinte forma: quando o estator é energizado, as linhas do campo girante cortam o rotor, então é induzida uma diferença de potencial nas barras, resultando em uma corrente elétrica. (OLIVEIRA, 2009)

## **Suporte**

O suporte que foi feito para garantir a estabilidade do gerador e o mínimo espaço de entreferro entre o rotor e o estator foi feito a partir da fixação de barras e anéis do rotor gaiola de esquilo aproveitado dos ventiladores.

No estator, foram acrescentadas 4 bobinas ovais, que foram produzidas no laboratório a partir de fio esmaltado de cobre, de 0,5 mm. As bobinas possuem 200 espiras e dimensões aproximadas de 30 mm x 10 mm.

**Figura 12: Bobina feita a partir de fio esmaltado**



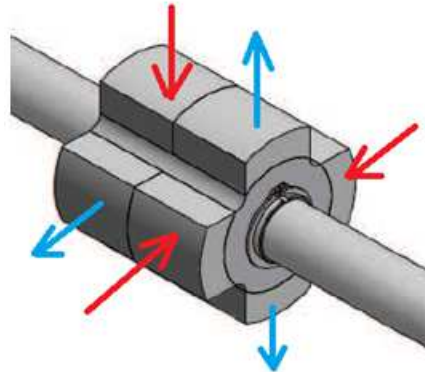
**Fonte: SÁNCHEZ, 2007.**

## **Rotor**

O rotor foi construído a partir da usinagem dos rotores dos motores gaiola de esquilo; porém foi adaptado uma estratégia inovadora: Foram feitas 4 ranhuras verticais no rotor, as

quais receberam os ímãs enterrados, com polaridades invertidas, seguindo o esquema de polarização da figura:

**Figura 13: Esquema da posição dos ímãs do rotor**



**Fonte: COSIC, 2010.**

### **Estrutura Mecânica**

Para formação da estrutura mecânica foram adicionados alguns mancais, bielas, rolamentos e uma manivela; além de dois contrapesos paralelos soldados na estrutura com peso de aproximadamente 300g cada um, usados com a finalidade de compensar o peso do rotor, de aproximadamente 600g.

Outro aspecto inovador na construção do protótipo foi o acréscimo de um mancal vertical na haste do pistão, para que o rotor gire  $90^\circ$  a cada meio-ciclo (considerando um ciclo igual a um movimento de entrada e saída do rotor em relação ao estator). Para melhor compreensão, analisa-se o comportamento de uma bobina quando eletrizada por um par de ímãs de polaridades opostas: o rotor corta as linhas do campo eletromagnético com dois ímãs (um com pólo norte, outro com pólo sul). Após meio ciclo (quando o rotor corta o campo apenas uma vez, na descida do pistão), o rotor gira  $90^\circ$  na horizontal, levando os dois ímãs que entraram frente a bobina de referência para a bobina lateral, e trazendo até a mesma bobina de referência outro par de ímãs, com polaridades opostas aos ímãs que entraram no campo. Então, o rotor corta novamente o campo magnético e retorna à sua posição inicial na parte superior, onde retorna o seu movimento do eixo x. Este percurso foi feito com a intenção de aumentar a tensão induzida, o que foi efetivamente conseguido, conforme resultados verificados em laboratório.

## O protótipo

A seguir está ilustrado o protótipo nas figuras 14, 15 e 16. A primeira retrata um desenho técnico, que ilustra a fase de formação da ideia. Nesta fase, o desenho não apresentava ainda a haste para movimento horizontal do rotor. A segunda imagem retrata o protótipo em fase de construção e a terceira figura ilustra o protótipo depois de pronto, na fase de teste.

**Figura 14: Desenho técnico do gerador**



**Fonte: Os autores, 2014.**

**Figura 15: Fotos da fase de construção**



**Fonte: Os Autores, 2014.**

**Figura 16: Protótipo pronto**



**Fonte: Os autores, 2014.**

## 6. RESULTADOS:

### Testes de tensão:

Foram realizados testes da intensidade de tensão gerada em cada uma das bobinas individualmente. Para isso usou-se o software da National Instruments, LabView.

O LabView é um software de programação em blocos, que dependendo da programação pode ser usado como sistema de monitoramento e supervisão de determinadas variáveis. Para isto, é necessário que haja um dispositivo para aquisição de dados. Neste trabalho foi usada a placa da National Instruments NI USB 6009, cuja fotografia encontra-se a seguir.

**Figura 17: Placa DAQ NI USB 6009**

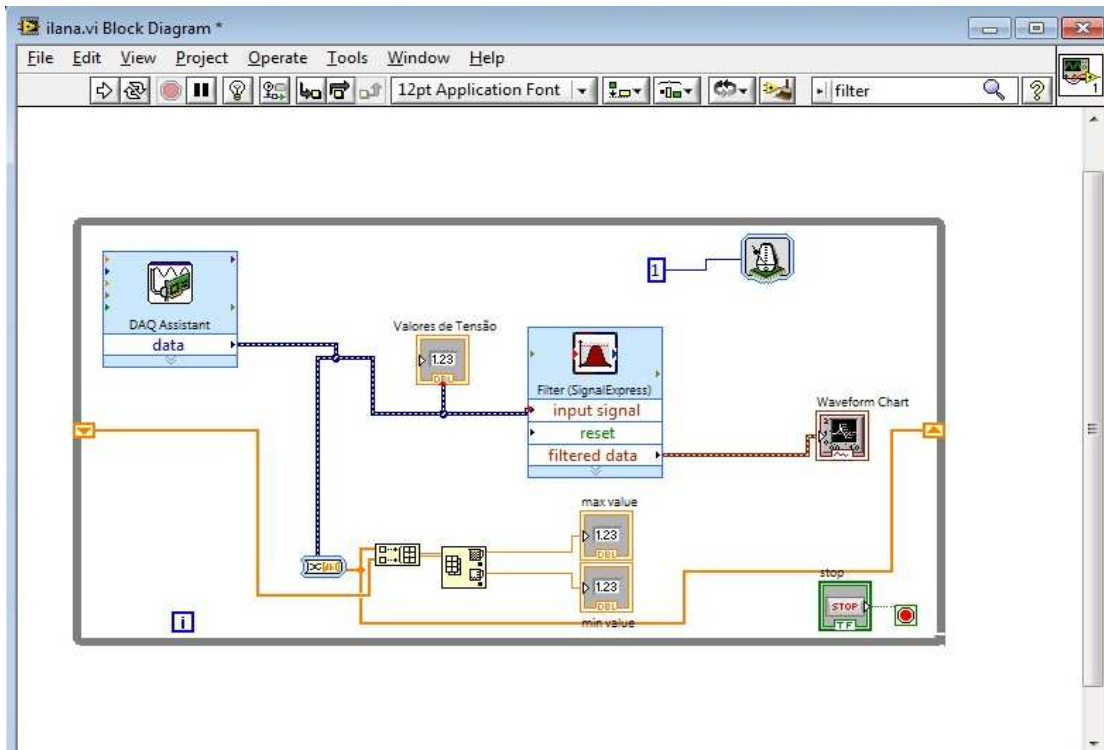


**Fonte: Os autores, 2014.**

Cada bobina foi medida individualmente e alcançaram resultados parecidos; portanto, estão registrados no presente trabalho o acompanhamento de apenas uma bobina.

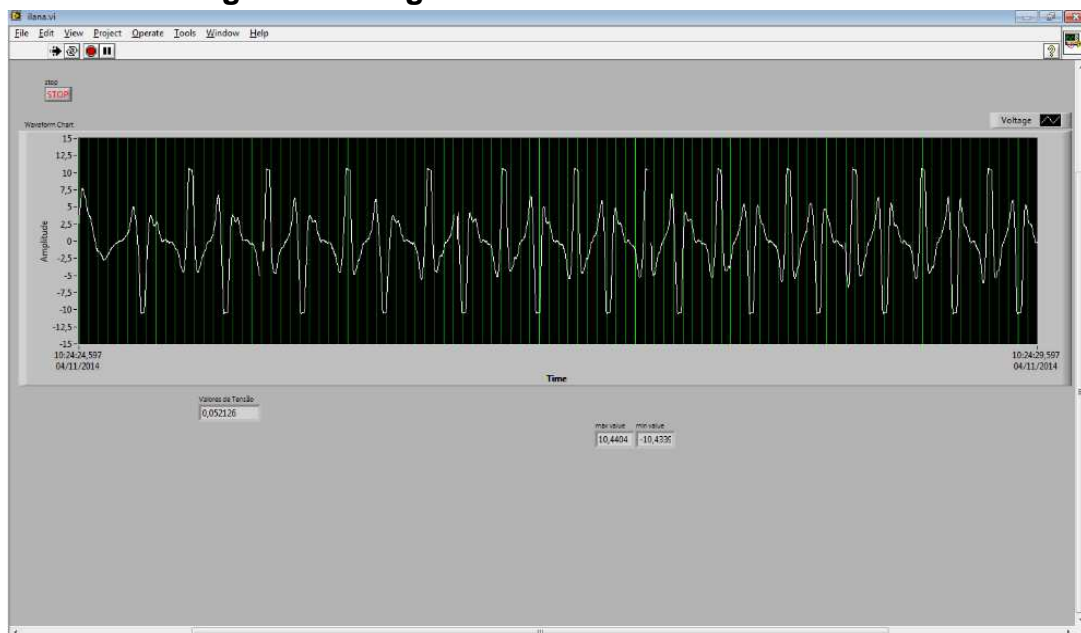
No LabView foi feita uma programação que mostra o sinal analógico da tensão induzida, um display que exhibe o valor da tensão instantânea a cada milissegundo, e dois displays que exibem os valores analógicos máximos alcançados pela tensão, em um display o máximo positivo e no outro o máximo negativo. As figuras 18 e 19 ilustram o diagrama de blocos (programação) e o painel frontal (monitoramento), respectivamente:

**Figura 18: Diagrama de blocos do LabView**



Fonte: Os autores, 2014

**Figura 19: Diagrama Frontal do Labview**



Fonte: Os autores, 2014.

Então foram iniciados os testes de medição. Percebeu-se que a cada rotação da manivela, o rotor corta o campo magnético em um ciclo completo, ou seja, duas vezes. Os valores alcançados encontram-se na tabela a seguir:

**Tabela II: Resultados obtidos na Primeira medição**

Induções por minuto	Máxima das Tensões (V)
120	8.2
140	10.4
164	10.4
172	10.4
200	10.4

**Fonte: Os autores, 2014.**

Neste ponto percebeu-se que por mais que a velocidade de rotação aumente, o valor máximo da tensão medida fica estacionário em uma determinada constante. Isto dá-se devido a limitação da placa DAQ NI USB 6009, que realiza a leitura apenas de valores na faixa de +10V a -10V, como ilustra a Figura a seguir.

**Figura 20: Especificações da placa DAQ utilizada.**

Taxa máxima de amostras (agregado)		
	NI USB-6008	10 kS/s
	NI USB-6009	48 KS/s
Tipo de Conversor		
		Aproximação Sucessiva
Tempo de Resolução		
		41,67 ns (24 MHz)
Tempo de Precisão		
		100 ppm de taxa de amostra
Taxa de entrada		
	Diferencial	$\pm 20 \text{ V}^2$ ; $\pm 10 \text{ V}$ ; $\pm 5 \text{ V}$ ; $\pm 2,5 \text{ V}$ ; $\pm 2 \text{ V}$ ; $\pm 1,25 \text{ V}$ ; $1 \text{ V}$
	Single-ended	$\pm 10 \text{ V}$

**Fonte: Manual oficial da NI USB 6009.**

Então, o teste foi recomeçado com outro equipamento, o osciloscópio GW INSTEK GDS-1022, que registrou os resultados exibidos na tabela.

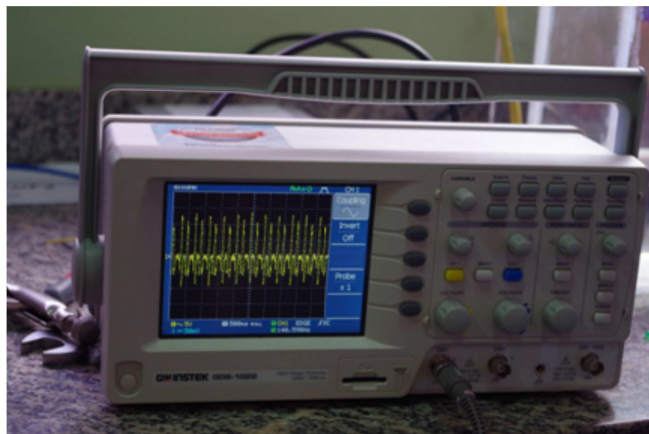


**Tabela 3 – Resultados da Segunda medição**

Induções por minuto	Máxima das Tensões (V)
120	8.8
140	10.8
164	12.9
172	13.1
200	15

**Fonte: Os autores, 2014.**

**Figura 21 – Forma de onda no osciloscópio**



**Fonte: Os Autores, 2014.**

A partir dos resultados, é possível calcular o valor aproximado de geração do equipamento de todas as bobinas juntas, fazendo o cálculo da média dos resultados obtidos e multiplicando-se o valor médio da tensão pelo número de bobinas.

**Tabela 4: Cálculos de Média dos Resultados**

Média da quantidade de induções	
Média da máxima tensão alcançada	

**Fonte: Os Autores, 2014.**

$$12,12 \times 4 \text{ bobinas} = 48,48 \text{ Volts}$$

Conclui-se que para uma média aproximada de 159 induções por minuto, o protótipo da máquina de fluxo transversal linear gera cerca de 48 Volts.

## **7. CONCLUSÃO:**

O gerador linear de fluxo transversal com a topologia de ímã enterrado mostrou-se eficiente na geração de energia, tanto na revisão bibliográfica, uma vez que mostra-se como tendência na geração de energia a partir das ondas; quanto na medição de variáveis do protótipo, atingindo a marca aproximada de 48 V a cada minuto de acionamento. Sabe-se que os resultados obtidos não são resultados exatos, mas sim aproximados, devido à limitação dos equipamentos utilizados e a margem de erro humano.

O sistema demonstrou uma eficiência de 43% na geração de energia proveniente do movimento das ondas.

### **7.1. Sugestão de Trabalhos Futuros:**

- Substituição da manivela por outro dispositivo para acionar o gerador com velocidade constante.
- Simular em MEF diferentes características do gerador.
- Analisar as ondas da Região dos Lagos (onde é situado o curso de mestrado do IFF) a partir da coleta de dados e simular o protótipo para medição de variáveis a partir de características reais das ondas predominantes na Região.

## REFERÊNCIAS:

AROF, H., EID, A.M. e NOR, K.M., ***Cogging Force Reduction Using Special Magnet Design for Tubular Permanent Magnet Linear Generators***. University of Malaya. Malásia, 2004.

BANG, Deok-je. Design of Transverse Flux Permanent Magnet Machines for Large Direct-Drive Wind Turbines.

BARROCA, T.N.P. **Dimensionamento de um gerador linear para o aproveitamento das ondas**. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2012.

CASTRO, R.M.G. e JESUS, J.M.F. **Equipamento Elétrico dos Geradores Eólicos. Energias Renováveis e Produção descentralizada**. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2004.

COLUMBIA POWER TECHNOLOGIES. ***Columbia Power Technologies: Clean Renewable Energy from Ocean Waves***. Virgínia, 2014.

COSTA, E. M. M., **Eletromagnetismo: Campos Dinâmicos**, Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2006.

COSIC, A. ***Analysis of a Novel Transverse Flux Machine with a Tubular Cross-section for Free-Piston Energy Converter Application***. KTH School of a Electrical Engineering. Estocolmo, 2010.

CUNHA, J.F, e ONOFREI, R. **Energia Oceânica**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2010.

CZECH, B. e BAUER, P. ***Wave Energy Converter Concepts***. IEEE Industrial Electronics Magazine. [s.l], 2012.

DREW, B., PLUMMER, A.R. e SAHINKAYA. ***A review of wave energy converter technology. Department of Mechanical Engineering. University of Bath. Bath, UK, 2009.***

FAIZ, Jawad, EBRAHIMI-SALARI, Mahdi e SHAHGHOOLIAN, Gh. ***Reduction of Cogging Force in Linear Permanent-Magnet Generators.*** University of Tehran. Irã, 2010.

FALCÃO, A.F.O. ***Wave Energy utilization: A review of the technologies.*** [s.l.], 2010.

FERNANDES, J.F.P., ***Geração Eólico Polifásico de Fluxo Transverso com Magnetos Permanentes.*** Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2011.

FERREIRA, A.P.B.S., ***Projeto de uma Máquina de Ímãs Permanentes de Fluxo Axial Orientado para os Sistemas de Conversão de Energia Eólica.*** Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Portugal, 2011.

HOLMBERG, ANDERSSON, M., BOLUND, B. e STRANDANGER, K. ***Wave Power: Surveillance study of the development.*** Elforsk. Vattenfall, AB, 2011.

LIU, C.T. ***Compact Model of a Slotless Tubular Linear Generator for Renewable Energy Performance Assessment.*** *IEEE Transactions on Magnetics*, Volume 46. 2010.  
MANUAL NI USB 6009. ***Manual do Usuário.*** National Instruments, 2011.

NAZARI, M., GHASSEMI, H., GHIASI, M., SAYEHBANI, M., ***Design of the Point Absorber Wave Energy Converter for Assaluyeh Port.*** *Iranica Journal of Energy and Environment.* Irã, 2013.

NEVES, F.L. ***Análise em Regime Permanente de uma Máquina de Indução Duplamente Alimentada Sem escovas.*** Escola Politécnica da UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, J.G.S.M. **Materiais Usados na Construção de Motores Elétricos**. Pontifícia da Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Paraná, 2009

ORMAZA, Modesto Amundarain. La energía renovable procedente de las olas. Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática. Espanha, 2012.

OSTRITZ, F.F. **Estimativa do Potencial Energético Gerado por Ondas na Costa do Brasil com ênfase no estado do Ceará**. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

PASTOR, J. ***Power Absorption Modeling and Optimization of a Point Absorbing Wave Energy Converter Using Numerical Method***. University of Louisiana at Lafayette. Lafayette, 2014.

POLINDER, H., MUELLER, M.A., SCUOTTO, M. Linear generator systems for wave energy conversion. 7<sup>th</sup> European Wave and Tidal Energy Conferency. Portugal, 2007.

PIUMBINI,P.P. **Clima de Ondas de Gravidade e Estado de Agitação Marítima em Ambientes Marinhos no Espírito Santo**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

SEABASED. ***Bringing wave energy to the world***. Disponível em <[www.seabased.com/en/](http://www.seabased.com/en/)>. Uppsala,2014.

SVECHKARENKO, Dmitry, On Design and Analysis of a Novel Transverse Flux Generator for Direct-driven Wind Application. KTH Electrical Engineering. Suécia, 2010.

SÁNCHEZ, A.A. e CLÚA. S. ***VIII Edición Del Concurso Ciencia en Acción Zaragoza: Detector de movimiento por inducción magnética***. Universitat de Lleida. Espanha, 2007.

WEG. **Características e Especificações de Geradores**. DT – 5. [s.l.], 2010.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

Por meio da pesquisa de dissertação, é possível afirmar que o Brasil possui um bom potencial de geração de energia oceânica; fato que pode vir a ser tendência para os anos futuros.

Também é possível observar que o WEC do tipo *Point Absorber* acoplado a uma máquina de fluxo transversal mostra-se como alternativa na geração de energia renovável, porém, é necessário que haja um estudo detalhado do uso dessa topologia com simulação de características reais das ondas de diferentes regiões do Brasil.

### 3. REFERÊNCIAS:

BOYLE, GODFREY, *Renewable Energy*, Oxford, UK, 2º edição, 2014.

OPREA, C.A., **Permanent magnet linear generator for renewable energy applications: Tubular vs. four-sided structures**, International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), 2011.

CHENG-TSUNG LIU, H. N. Lin; YEH, H. C. and HWANG C. C., **Optimal Design of a Direct Driven Slotless Tubular Linear Generator for Renewable Energy Extraction**, 2nd Int. Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications. ISAMMA, 2010.